جمهوری اسلامی ایران
وزارت آموزش و پرورش

فیزیک

سال اول

آموزش متوسطهٔ عمومی

علوم تجربی و ریاضی



۲۰۶

بسم الله الرحمن الرحیم

فیزیک

سال اول

آموزش متوسطهٔ عمومی

علوم تجربی ـ ریاضی و فیزیک

۱۳۶۰

پدیدآورندگان:

مؤلفان: محمود عرب‌اف   ابوالقاسم قلم سیاه

صفحه‌پرداز: تهمورث حسن پور

چاپ از : چاپخانه سعیدنو

فهرست

۱

فیزیك و روش فیزیکی

خورشید امروز صبح طلوع کرد: این یك واقعیت است. خورشید هر روز صبح طلوع می کند: این یك قانون طبیعی است. خورشید فردا صبح طلوع خواهد کرد: این یك پیشگویی است.

تنها فالگیر نیست که ادعای پیشگویی می کند. هر شخصی به کمك تجربه‌های گذشته‌اش اندکی می‌داند که در آینده چه به وقوع می‌پیوندند. ما با اطمینان می‌دانیم که هر روز نو برای ما با رویدادهایی از این قبیل همراه است: افزایش روشنی، طلوع خورشید، احساس گرسنگی پس از گذشت چند ساعت، رفع گرسنگی پس از خوردن غذا و . . . . اما در بارهٔ وقوع بعضی از حوادث آینده کمتر اطمینان داریم. شما برای تماشای یك مسابقهٔ فوتبال بعد از ظهر امروز پس از پایان درس طرحی ریخته‌اید و هواشناسی هم هوای خوبی را پیشگویی کرده است اما ممکن است پیشگویی هواشناسی درست از کار درنیاید یا به علتهای دیگر نتوانید به تماشای مسابقه بروید. پیشگویی وقوع یك حادثه را به مدد یك قانون علمی نباید با پیش‌بینی حوادث آینده که درجهٔ تحقق‌پذیری آنها متفاوت است اشتباه کرد. مثلاً شما شك ندارید که خورشید غروب می کند ولی مطمئن نیستید که از خواندن این کتاب لذت می‌برید.

انسان از آغاز پیدایش خود کوشش کرد تا حادثه‌های آینده را پیشگویی کند و زندگی خود را تحت نظم و قاعده درآورد. او از همان ابتدا کارهایی بدون آن که دلیلشان را بداند انجام می‌داد که پایهٔ بعضی از آنها بر آنچه ما امروز فیزیك می‌نامیم گذاشته شده بود. مثلا او به تجربه آموخت که چگونه سنگ را پرتاب کند تا به حیوانی که در حال فرار است برخورد نماید. او می‌دانست که اگر سنگ را مستقیماً به طرف حیوان پرتاب کند به آن نمی‌خورد زیرا وقتی که سنگ به هدف پرتاب برسد حیوان در جای اولیهٔ خود نیست. انسان اولیه آموخت که بدن خود را چگونه نگه‌دارد تا بتواند اشیای سنگین را از زمین آسانتر بردارد. او دانست که غلتاندن یك سنگ بزرگ راحت‌تر از کشیدن آن است. پی‌برد که از به هم زدن دو سنگ آتش‌زنه، جرقه تولید می‌شود. . .

انسان اولیه قانونهای سطحی خود را غالباً از مشاهدهٔ حوادث و تجربه به‌دست می‌آورد ولی راهی برای وفق دادن و تطبیق آنها با پدیده‌های نو نمی‌شناخت. اگر این قانونها او را کمك می‌کرد تا حوادث را پیشگویی و نظارت کند آنها را می‌پذیرفت و به تدریج اصلاح می‌کرد و اگر نتایج پیشگویی او درست در نمی‌آمد آنها را کنار می‌گذارد و به قانونهای بهتری توجه می‌نمود. درست از همین راه انسان اولیه، مواد غذایی و قابل استفاده را که برای ادامهٔ زندگیش لازم بود شناخت و چون دانش او دربارهٔ گیاهان بیشتر شد مشاهدات خود را به‌صورت قانونهایی تعمیم داد و نه‌تنها پیشگویی کرد بلکه به

بررسی و آزمایش نیز پرداخت و به‌جای آن‌که مواد غذایی موجود در طبیعت را جمع‌آوری و انبار کند، خود تولیدکننده و برزگر شد.

ما نباید به دانش اجدادمان که امروزه به‌نظر ما کم مایه می‌آید به‌چشم حقارت بنگریم. زیرا حاصل تلاش آنان است که نسل به‌نسل کامل شده و بهما انتقال یافته است.

فرضیه‌ها و قانونها چگونه به‌وجود می‌آیند؟

شما اکنون تا اندازه‌ای با روش کاردانشمندان آشنا شده‌اید. هرکس مایل است که از مشاهدات خود نتایج قطعی و تردید ناپذیری به دست آورد. دانشمند وقتی پدیده‌ای را مشاهده می‌نماید دربارهٔ آن پدیده می‌اندیشد و اظهار نظر می‌کند و برای اثبات نظر و عقیدهٔ خود آزمایشهایی نیز انجام می‌دهد. اگر آزمایش، نظر وعقیدهٔ اورا تأیید کند نتیجه می‌گیرد که آنچه را به‌صورت قاعده یا قانون پیشنهاد کرده است درجای خود دارای ارزش و اعتبار است.

برای مثال، دانشمندی را در نظر بگیرید که می‌رود در دریا جایی که‌عمق آب زیاد است شنا کند. او درمی‌یابد که هرچه در آب بیشتر فرو می‌رود فشار برروی پرده‌های گوشش بیشتر می‌شود. اکنون به‌تجزیه و تحلیل این پدیده می‌پردازد و استدلال می‌کند که فشار آب به‌علت وزن آب بالای سر اوست. چون در عمقی که او فرو رفته مقدار آب بیشتری بالای سرش بوده است فشار افزایش یافته است. اگر او یك‌شخص عادی بود به‌همین مرحله اکتفا می‌کرد وراضی می‌شد

اما چون او دانشمند است حس می‌کند که تازه اول کار است و می‌اندیشد:

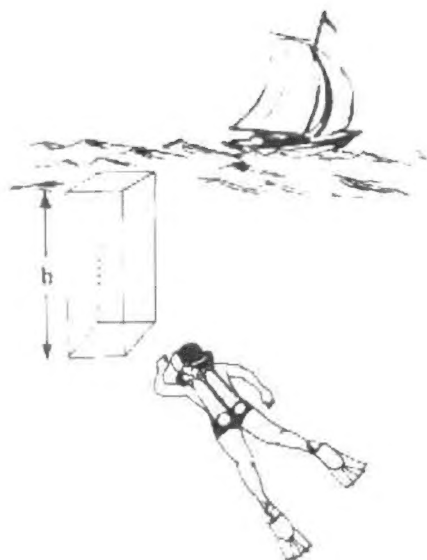
وقتی که در آب فرو می‌رویم فشار به‌چه نسبت افزایش می‌یابد؟ آیا راهی هست که نشان دهد فشار آب بستگی به وزن آب بالای سر دارد؟ او می‌اندیشد که نظر خود را به صورت رابطهٔ ریاضی نمایش دهد و تصمیم می‌گیرد که کمیت شناخته شدهٔ وزن‌حجمی (وزن واحد حجم) آب دریا را درمسئله وارد کند. به کتاب مراجعه می‌کند و وزن هر متر مکعب آب‌دریا را در حدود ۱۰۷۵ کیلوگرم نیرو می‌یابد.

* در متن کتاب پرسشهایی به‌هنگام لزوم درج شده است. وقتی که به یکی از این پرسشها می‌رسید اندکی تأمل و فکر کنید و آن‌را پاسخ دهید. پس از یافتن پاسخ به‌انتهای بخش که پاسخها در آنجا نوشته شده‌است مراجعه‌کنید تا ازدرستی پاسخ خود اطمینان حاصل کنید. اینك نخستین پرسش:

پرسش ۱-۱- وزن ۵ مترمکعب آب‌دریا چند کیلوگرم نیروست؟

با دانستن وزن حجمی آب دریا، دانشمند ما اکنون می‌تواند مجسم کند که فشار چگونه با عمق افزایش می‌یابد: وی سطحی افقی را که مساحت آن برابر واحد سطح (مثلا یك متر مربع) است در عمقی معین درنظرمی گیرد. اگر این سطح درعمق سه‌متری سطح‌آب باشد می‌توان آن‌را مطابق شکل ۱-۱ قاعدهٔ ستونی از آب تصور کرد که‌حجم آن سه مترمکعب است. در نتیجه وزن این ستون فرضی آب دریا برابر است با ۳۲۲۵ = ۱۰۷۵ × ۳ کیلوگرم نیرو.

به‌عبارت دیگر: **نیروی فشاری که آب دریا برسطح یك‌متر مربع درعمق سه متری وارد می‌سازد ۳۲۲۵ کیلوگرم نیروست.** اگر فشار راچنان که متداول



شکل ۱-۱- فشار در عمق h آب شور دریا چه اندازه است؟

است، بر هرسانتیمتر مربع از سطح مورد نظر حساب کنید نتیجهٔ حاصل $\frac{\text{کیلوگرم نیرو}}{\text{سانتیمترمربع}}$ ۰/۳۲۱۰ خواهد بود.

اما چند لحظه تأمل کنید! آیا چیزی فراموش نشده است؟ فشار در سطح آب دریا صفر نیست زیرا هوا بر سطح آب دریا نیز فشار وارد می‌سازد. فشار هوا برسطح آب دریا در حدود یك کیلو گرم نیرو برسانتیمتر مربع است. منطقی است بپذیریم که فشار در یك عمق معین مجموع فشار هوا و فشار آب است. مثلا فشار کل در عمق سه متری سطح دریا برابر ۱/۳۲۱۰ کیلو گرم نیرو برسانتیمتر مربع است. در اینجا به دومین پرسشی که مطرح می‌شود پاسخ دهید:

پرسش ۱-۲- فشار درعمق ۱۰متری آب دریا چندکیلو گرم نیرو بر سانتیمتر مربع است؟

اینك دانشمند تصمیم می‌گیرد که نتایج حاصل را تعمیم دهد و روش تعیین فشار را در هر گونه مایع و در هر عمق بدست آورد. به آنچه تاکنون انجام داده است توجه کنید: او برای تعیین فشار درون آب، وزن حجمی آب را در عمق آب ضرب کرد و به‌این حاصل ضرب فشار هوا در سطح آب را افزود. بیان این نتیجه با زبان ریاضی مختصرتر و کار بردآن آسانتر می‌شود. مثلا اگر حرف P را برای نمایش فشار درون مایع و حرف h را برای نمایش عمق مایع و حرف D را برای نمایش وزن حجمی مایع وحرف P_0 را برای نمایش فشارهوا درسطح مایع به‌کاربریم نتیجهٔ بالا به‌صورت معادلهٔ زیر نوشته می‌شود:

$$P = P_0 + Dh \qquad (۱-۱)$$

ولی این، یك نمونهٔ ناآزمودهٔ فیزیکی است که به صورت معادلهٔ ریاضی نوشته شده است. به عبارت دیگر یك فرضیه است که بر مشاهدات و اندیشهٔ یك دانشمند پایه‌گذاری شده وممکن است استدلال دانشمند در بیان آن ناقص باشد یا، عاملهای دیگری درپدیدهٔ فشار مایع دخالت داشته باشند که هنوز به اندیشهٔ او راه نیافته‌اند.

مرحلهٔ آزمایش

فرضیه‌ها معمولا به‌صورت رابطه‌های ریاضی نمایش داده می‌شوند ونمی‌توان آنها را قبول کرد مگر آن‌که آزمایش درستی‌شان راتأیید کند. معادلهٔ(۱-۱) نشان می‌دهدکه چگونه فشار P برحسب عمق h تغییر می‌کند. به‌عبارت دیگراگر عمق h معین باشد می‌توانیم فشار P را حساب کنیم. برای این‌منظور باید مقادیر P_0 و D معلوم باشند.

پرسش ۱ـ۳ ـ اگر وزن یك متر مکعب نفت ۸۰۰ کیلو گرم نیرو باشد به‌فرض درست بودن معادلهٔ (۱ـ۱) فشار برته‌مخزنی که درآن تاارتفاع ۲متر نفت موجود است برحسب کیلو گرم نیرو برسانتیمترمربع چه اندازه است؟

تنها راه آزمون درستی این معادله آن است که فشار را در عمقهای مختلف اندازه بگیرند و با آنچه از محاسبه به‌دست می‌آید مقایسه کنند.

دانشمند یك فشارسنج و یك نوارمتر و لوازم غواصی و همچنین وسیله‌هایی که بتواند با آنها درزیر آب یادداشتهایی بردارد تهیه می‌کند. او یك سرنوار متر خود را به جسمی کـه در سطح آب شناور است می‌بندد و در آب فرو می‌رود و هر یك متر که پایین می‌رود فشاررا روی‌فشارسنج می‌خواند و درجدولی که از پیش‌تهیه‌کرده است یادداشت می‌کند(جدول ۱ـ۱).

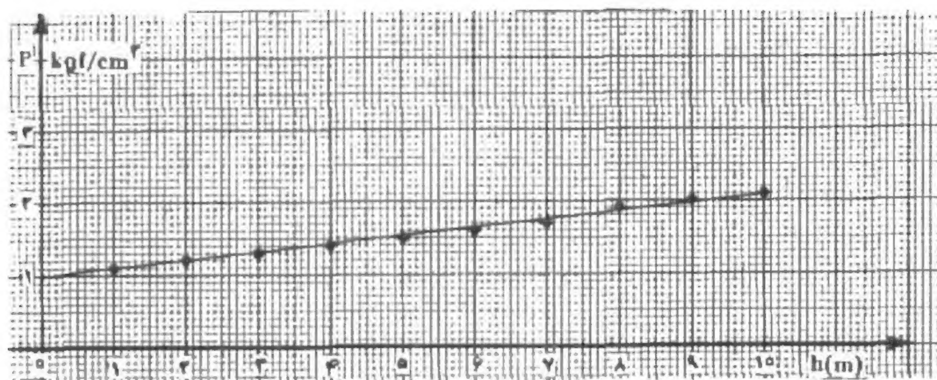
جدول ۱ـ۱ـ نمایش فشاردرعمق آب دریا

عمق‌آب(متر)	فشار(کیلوگرم‌نیرو برسانتیمترمربع)
۰	۱
۱	۱/۱
۲	۱/۲
۳	۱/۳
۴	۱/۴
۵	۱/۵
۶	۱/۶
۷	۱/۷
۸	۱/۹
۹	۲
۱۰	۲/۱

نمایش نتایج آزمایش

جدول ۱ـ۱ نشان می‌دهد که به هرعمق معین، یك فشار معین مربوط است . بـه عبارت دیگر فشار بستگی به عمق آب‌دارد و با مراجعه بـه این جدول میزان فشار در عمقهایی که درآن درج شده‌است معین می‌شود . ممکن است فشارهایـی که در ایـن جدول مقابل عمقها درج شده است مضرب کاملاً درستی از عمقها نباشد ولی اختلاف زیاد نیست و بستگی به دقت درجه‌بندی اسبابهای اندازه‌گیری دارد. مثلاً فشاردر عمق ۸ متری تقریباً معادل ۱/۸۶ کیلو گـرم نیرو برسانتیمترمربع‌است ولی‌درجدول ۱/۹ درج‌شده است. علت این است‌که فشارسنج نمی‌توانسته است فشارهای کمتراز $\frac{1}{10}$ کیلوگرم نیرو برسانتیمتر مربـع را نشان دهد.

معمولاً تنظیم جدول روش قانع‌کننده‌ای برای نمایش تغییرات یك کمیت نسبت به‌کمیت دیگر نیست، زیرا تمام مقادیر ممکن را در برندارد. مثلاً درجدول ۱ـ۱ فشار در عمق ۴/۵ متر یا در عمق ۷/۳ متر درج نشده است. مناسب‌تر این است که این تغییرات را با نموداری مشخص کنیم که‌به‌کمك‌آن‌بتوان‌هرمقدار را که در محدودهٔ نمودار است به دست آورد . برای این منظور، دو محور عمود برهم روی کاغذ میلیمتری مطابق شکل ۱ ـ۲ رسم می‌کنیم . عمق آب را روی محور افقی وفشار را روی محور عمود بر آن نمایش می‌دهیم، مثلا هرسانتیمتر را روی محور افقی برای نمایش یك متر عمق‌آب و هرسانتیمتر را روی محور عمودی برای‌نمایش‌فشار یك‌کیلو گرم نیرو‌برسانتیمتر مربع انتخاب می‌کنیم . روی صفحهٔ دو محور ، فشار نظیرهرعمق را بـا یك نقطه مشخص می‌کنیم . بدین



شکل ۱ــ۲ــ نمودار تغییرات فشار آب دریا برحسب عمق (مربوط به جدول ۱ــ۱).

ترتیب تعدادی نقطه به دست می‌آید که روی یك خط راست قرار دارند.

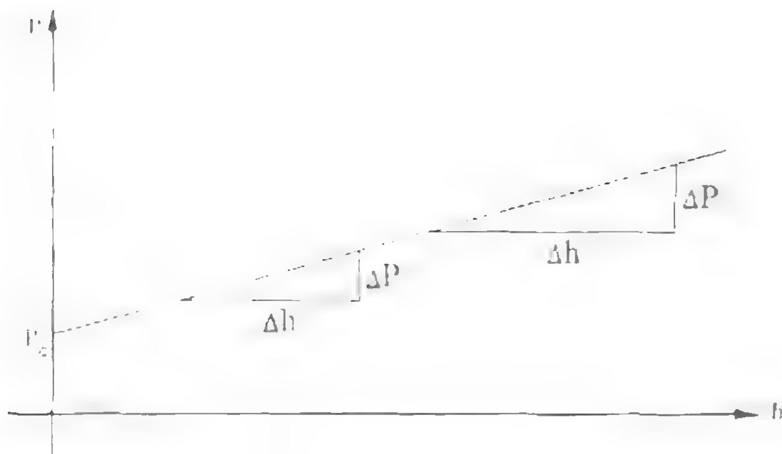
کافی است خط‌کشی را در امتداد این نقطه‌ها بگذاریم و آنها را با یك خط راست بهم وصل کنیم. خطی که به دست می‌آید نمودار تغییرات فشار درون آب دریا تا عمق ده متر است. نقطه‌هایی هم پیدا می‌شوند که درست روی خط نیستند ولی خیلی نزدیك به آن هستند. علت انحراف جزئی این نقاط خطایی است که هنگام اندازه‌گیری فشار در خواندن درجه‌های اسبابهای اندازه‌گیری حاصل شده است.

پرسش ۱ــ۴ــ چگونه می‌توانید به کمك این نمودار فشار را در عمقهای ۷/۵ متری و ۱۵ متری سطح آب دریا تعیین کنید؟

ضمن مطالعهٔ کتاب، شما نمودارهای چندی را خواهید دید. هنگامی که نموداری را می‌بینید با دقت به آن توجه کنید تا بفهمید که نمودار تغییرات چه کمیتهایی را نشان می‌دهد. نمودارهایی که به صورت خط راست هستند به آسانی تعبیر می‌شوند. هر نمودار راست خط، با دو چیز مشخص می‌شود یکی محلهای برخورد نمودار با محورها و دیگری شیب نمودار.

مثلاً در شکل ۱ــ۲، نمودار در نقطه‌ای محور نمایش فشار را قطع کرده است. این نقطه معرف فشار در سطح آب دریا (یعنی جایی که عمق آب صفر است) می‌باشد و همان است که در معادلهٔ (۱ــ۱) به P_0 نمایش داده شده و در حدود یك کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع است. شیب این نمودار عبارت است از نسبت میزان افزایش فشار به افزایش عمق. برای اینکه معنی شیب را بهتر درك کنید و به چگونگی تعیین آن پی ببرید به شکل ۱ــ۳ مراجعه کنید.

در این شکل دو مثلث روی نمودار رسم شده است که به آسانی می‌توانید نظیر آنها را رسم کنید: از یك نقطه روی نمودار، خط افقی به طول دلخواه بکشید و از انتهای آن خطی دیگر عمود بر آن رسم کنید تا نمودار را قطع کند. بدین ترتیب مثلث قائم‌الزاویه‌ای درست می‌شود. چون همهٔ مثلثهایی که بدین گونه رسم می‌شوند متشابهند نسبت دو ضلع آنها همواره ثابت است و بستگی به طولشان ندارد. ضلع افقی این مثلث نمایش افزایش عمق به میزان دلخواه است و ما آن را به Δh نمایش می‌دهیم. Δ (حرف یونانی دلتا) در اینجا معرف تغییر مقدار h (عمق آب) است.



شکل ۱-۳- طرز تعیین شیب نمودار تغییرات فشار آب دریا با عمق آب

بنابراین Δh یعنی اندازهٔ تغییر h ، ضلع عمودی ΔP نمایش تغییرفشار وابسته به‌تغییر عمق Δh است. چون نمودار به‌شکل خط راست است نسبت $\frac{\Delta P}{\Delta h}$ همواره ثابت است و شیب‌نمودار نامیده می‌شود. این نسبت نشان می‌دهد که مثلا به‌ازای هریک‌متر عمق که در آب فرو می‌رویم چه اندازه فشار افزایش می‌یابد.

پرسش ۱-۵ ـ مقدار عددی شیب نمودار شکل ۱-۲ چه‌اندازه است؟

چگونه نتیجه‌گیری می‌کنیم؟

اکنون کار دانشمند ما این است که بررسی کند آیا نتایج آزمایشهای او با فرضیه‌اش تطبیق می‌کند یا نه؟ به‌خاطر بیاورید که او در بارهٔ مسئلهٔ فشار درون آب دریا فکر کرد و فرضیه‌ای پایه‌گذاری نمود که بر آن پایه، فشار درون آب با معادلهٔ $P=P_0+Dh$ نمایش داده می‌شود و تا عمق ده‌متری که او آزمایش‌کرد نتایج اندازه‌گیری به خوبی با آنچه از محاسبه به‌دست می‌آید تطبیق می‌کند.

یك شخص معمولی ممکن است به‌همین اکتفا کند و رابطه را اثبات شده بگیرد و آن‌را به عنوان قانون تغییر فشار درون مایعات برحسب عمق، قطعی و مسلم بداند اما دانشمند به‌این اکتفا نمی‌کند و تمام جوانب‌کار را در نظر می‌گیرد: آزمایش با آب‌شور دریا آن هم فقط تا عمق ده‌متری انجام گرفته است. اگر اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین مقادیراندازه گیری شده و مقادیر حساب شده پیدا کرده بود نتیجه می‌گرفت که فرضیه‌اش نادرست است و باید فرضیهٔ‌دیگری جانشین آن سازد. ولی حالا چنین نیست. در دامنهٔ محدودی بین آزمایش و فرضیه توافق حاصل است اما این آزمایشها برای رسیدن به نتیجهٔ نهایی کافی‌نیست زیرا هنوز درستی فرضیهٔ خودرا دربارهٔ مایعات‌دیگر یا عمقهای زیاد آزمایش نکرده است. علاوه براین

دقت اسبابهای اندازه گیری او بـه آن اندازه نبوده است که اگر اختلافهای کوچکی بین اندازه گیری و فرضیه وجود داشته باشد مشخص نمایـد. تنها چیزی که می‌تواند بگوید این است که : « تا اینجا چیزی مخالف فرضیه دیده نشده است.»

یکی از نابسامانیهای تحقیقات علمی این است که تنها یك آزمایش ممکن است فرضیه‌ای را باطل کند درصورتی که برای اثبات یك فرضیه اغلب تحقیقات بی‌شماری لازم است .

تعمیم آزمایش (گسترش مدل)

دانشمند ما اکنون کار خـودرا شروع کرده است. او قالب (مدل) کار خودرا می‌شناسد اما نمی‌داند تا چه‌اندازه به هدف نزدیك یا از آن دور است. او می‌خواهد آزمایش را با دقت بیشتر و در دامنهٔ وسیع‌تری تکرار کند زیرا آزمایشهای اولیهٔ خود را با وسایلی شروع کرد که دقت لازم را نداشتند. او احتیاج به ساختن حصاری دارد تا قسمتی ازسطح‌دریا را از امواج محفوظ نگه دارد و به‌اسبابهای عمق‌سنج و فشارسنج خیلی دقیق و گران‌قیمت و وسایل غواصی مطمئن نیاز دارد. علاوه برابن احساس می کند کـه به‌تنهایی نمی‌تواند این‌آزمایش را انجام دهد و به دو همکار نیازمند است. برای تهیهٔ این‌لوازم بایدمخارج زیادی را متحمل شود که از عهدهٔ او خـارج است خوشبختانه نیروی دریایی به این مـوضوع علاقه‌مند است . او طـرح خود را با مقامـات مسئول نیروی دریایی درمیان می گذارد وموافقت آنان را درپرداخت مخارج و تهیهٔ وسایل جلب می کند.

فرض کنیم که دانشمند ما می‌تواند بااسبابهای جدید خود فشار را تا $\frac{1}{100}$ کیلوگرم‌نیرو‌برسانتیمتر مربع اندازه بگیرد یا به عبارت دیگـر دقت او در اندازه‌گیری فشار $\frac{1}{100}$ است. چون فشار تابع عمق آب است بایـد دقت اندازه‌گیری عمق نیز با دقت اندازه‌گیری فشار برابر باشد . یعنی عمق را نیز بـا دقت $\frac{1}{100}$ اندازه بگیرد. او وزن حجمی آب وفشار اتمسفر را نیز با دقت یك‌صدم اندازه می گیرد و این دومقدار را درمعادلهٔ (۱ـ۱) به کار می‌برد وفشار را درفاصله‌های ۵ متر حساب می کند. سپس جدول ۱ـ۲ را تنظیم می‌نماید تا مقادیـر حساب شده را با آنچه اندازه گرفته است مقایسه کند. عددهای ستون دوم‌این جدول فشارهایی است که برپایهٔ دوثابت P_0=۱/۰۳ کیلوگرم نیرو برسانتیمتر مربع و D=۱۰۷۳/۸۵ کیلوگرم برمترمکعب حساب شده‌اند و در ستون‌سوم فشارهای اندازه گرفته شده درج گردیده است .

آیا مقادیر اندازه گـرفته شده و حساب شده باهم مطابقت‌دارند؟ تا عمق ۱۵ متری مسئله‌ای نیست. اختلاف بین این دو مقدار خیلی کـم و درحدود دقت اسباب اندازه‌گیری است و مـی‌توان از این اختلاف چشم پوشی کرد. درعمق ۲۵ متراین اختلاف ۰/۰۹ کیلوگرم نیرو برسانتیمتر مربع است و از عمق ۲۵ متربه‌بالا اختلاف رفته رفته زیادتر می‌شود و دیگر، فشارهای اندازه گرفته شده با فشارهای حساب شده تطبیق نـمی کند. یعنی رابطهٔ $P=P_0+Dh$ بـرای تعیین فشار در عمقهای بیشتر از ۲۵ مترکافی نیست.

پرسش ۱ـ۶ـ آیا معنی آن این است که‌رابطه نادرست‌است ونمی‌تواند نمایشگر یك‌قانون طبیعی‌باشد؟

دانشمند ما از این که می‌بیند فرضیه‌اش فقط تا حد معینی از دقت ، قابل قبول است متعجب می‌شود

جدول ۱ـ۲ـ مقایسهٔ بین فشارهای اندازه‌گرفته شده و حساب شده
در عمقهای مختلف آب دریا

عمق (متر)	فشار حساب شده (کیلوگرم‌بر سانتیمترمربع)	فشار اندازه‌گرفته شده (کیلوگرم‌بر سانتیمترمربع)
سطح آب	ـ	۱/۰۳
۵/۰۰	۱/۵۷	۱/۵۶
۱۰/۰۰	۲/۱۰	۲/۱۲
۱۵/۰۰	۲/۶۴	۲/۶۹
۲۰/۰۰	۳/۱۸	۳/۲۷
۲۵/۰۰	۳/۷۱	۳/۸۵
۳۰/۰۰	۴/۲۵	۴/۴۶
۳۵/۰۰	۴/۷۹	۵/۰۷
۴۰/۰۰	۵/۳۳	۵/۶۸
۴۵/۰۰	۵/۸۶	۶/۳۱
۵۰/۰۰	۶/۴۰	۶/۹۵

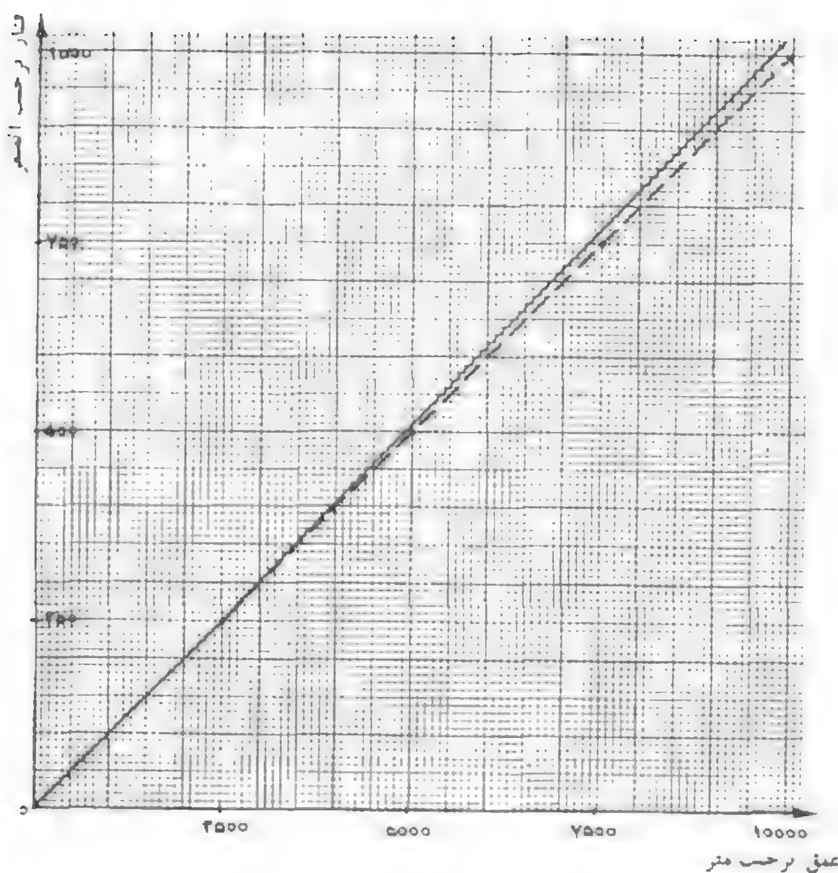
و می‌اندیشد که چه عواملی را در نظر نگرفته است.

اگر هنگام بررسی یك فرضیه یا یك قانون، وقتی که دقت اندازه‌گیری افزایش می‌یابد، چنین وضعی پیش آید معمولاً بدین معنی است که عواملی وجود دارد که آزمایش‌کننده آنها را به‌حساب‌نیاورده است. در اینجا هم دانشمند با تردید ذهنش متوجه می‌شود که: ممکن است این اختلاف به‌علت افزایش ناگهانی جرم حجمی آب دریا از عمق ۲۰ متر به پایین باشد، یا شاید، یك جریان‌آب سرد در این عمق یا لایه‌ای از آب نمك که غلظت نمك در آن بیشتر است این اختلاف را به‌وجود آورده باشد!

بدون شك این موضوع مسئلهٔ تازه‌ای را پیش می‌آورد که خود جداگانه باید مورد بررسی و تحقیق قرار گیرد. او ضمن تحقیقاتی که درباره وزن‌حجمی آب دریا در محل آزمایش به‌عمل می‌آورد نتیجه می‌گیرد که تغییرات آن در اثر تغییر دما و مقدار نمك محتوی آب، کمتر از یك درهزار است. بنابراین باید عامل دیگری غیر از تغییر دما و غلظت نمك موجود درآب دریا سبب این اختلاف شده باشد!

۱ـ فشار در عمقهای زیاد

در شکل ۱ـ۴، نمودار حقیقی فشار آب در اعماق اقیانوسها تا عمق ده‌هزارمتر، به‌صورت «خط‌توپر» و نمودار معادلهٔ (۱ـ۱) به‌صورت «خط‌چین» نمایش داده شده است. اختلاف بین این دوخط کوچك است و ←



شکل ۴-۱

ظاهر نمی‌شود مگر آنکه عمق خیلی زیاد باشد. اکنون مسلم شده‌است که نمودار فشار در عمقهای زیاد به‌صورت خط راست نیست. به‌عبارت دیگر تغییرات فشار در عمقهای زیاد به‌صورت تابعی که نمودار آن خط راست باشد نیست و معادلهٔ $P=P_{0}+Dh$ فقط تا عمقهای کم مورد قبول است یعنی تا جایی که انحراف از خط راست آن‌قدر کوچك است که قابل تشخیص نیست.

دانشمند می‌اندیشد که چرا درعمقهای زیاد، فشار از آنچه پیش‌بینی کرده بود زیادتر است؛ از نتایجی که مشاهده کرده است استنباط می‌کند که وزن حجمی آب به‌تدریج که عمق زیاد می‌شود به‌طور یکنواخت به‌میزان خیلی کم افزایش می‌یابد. آیا این افزایش به‌علت جمع شدن نمك در اعماق دریا است؟ آیا به‌علت کاهش تدریجی دمای آب است؟ این فرضها هردو مورد آزمون قرار می‌گیرند ولی هیچ‌کدام نمی‌توانند جوابگوی تغییرات دائمی و یکنواختی که در وزن حجمی آب دریا با عمق مشاهده شده است باشد. ذهن او متوجه این نکته می‌شود که ممکن است در اعماق اقیانوس، آب به‌علت فشار زیاد متراکم شده و حجم کمتری را اشغال کند و بدین علت وزن حجمی آن افزایش یابد. چون تغییرات منظم و تدریجی وزن حجمی آب دریا این‌نظر را تأیید می‌کند باید معادله تازه‌ای نوشته شود تا این تغییرات را نشان دهد. صورت اصلی چنین معادله‌ای

←

منظور از بیان مثال فشار درون آب دریا در این مقدمه آن نیست که صرفاً ثابت فشار درون مایع و راههای تعیین آن را به شما بیاموزیم بلکه می‌خواهیم در اینجا نظری کوتاه به رفتار علمی دانشمندان بیندازیم. توسعه و پیشرفت علم، نتیجهٔ تلاش بسیاری از دانشمندان در سرزمینهای مختلف جهان است که به‌تنهایی یا دو به دو یا به‌صورت دسته‌های کوچک و بزرگ به تحقیق پرداخته‌اند. معمولاً دانشمندان در هر زمینه بنای کار خود را بر پایهٔ آنچه قبلاً بنا شده است می‌سازند و کارهای دانشمندان گذشته را تعقیب و تکمیل می‌کنند. با این حال هر پیشرفتی در علم، مسائل نوی را به وجود می‌آورد به طوری که هیچ گاه نمی‌توان کار تحقیق و پیشرفت را در هیچ یك از شاخه‌های علوم خاتمه یافته تلقی کرد.

اغلب فرضیه‌های علمی منجر به‌اندازه‌گیریهای دقیقی می‌شود که این اندازه‌گیریها گاهی اندیشهٔ تازه‌ای را برمی‌انگیزد و گاهی هم لزوم تعویض یا دور ریختن فرضیه‌های موجود را آشکار می‌سازد.

آنچه در اینجا بیان شد منحصر به‌علم فیزیك نیست بلکه از مشخصات همهٔ علوم است ولی بحث ما در این کتاب دربارهٔ اندیشه‌ها و پدیده‌هایی است که دانش فیزیك را تشکیل می‌دهند. هدف این کتاب آن



از سطح این کتاب خارج است. در اینجا صورت دیگری از آن را برطبق قواعد ریاضی بسط داده شده است برای شما می‌نویسیم:

$$P = P_0 + D_0 h + \frac{(D_0 h)^2}{2B} + \frac{(D_0 h)^3}{3B^2} + \dots \qquad (2-1)$$

D_0 وزن حجمی آب در سطح دریا و B مقداری ثابت است که چگونگی تغییر وزن حجمی آب را با افزایش فشار بیان می‌کند و در حدود ۱۰⁴ × ۲/۲۵ کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع است. چون B در مخرج کسر جملهٔ $\frac{(D_0 h)^2}{2B}$ است این جمله معمولاً کوچك می‌باشد مگر آن که صورت آن بزرگ باشد. به عبارت دیگر در صورتی که عمق h کوچك باشد این جمله بی‌معنی است. جملهٔ $\frac{(D_0 h)^3}{3B^2}$ خیلی کوچك است مگر آن که عمق خیلی زیاد باشد. جمله‌های بعدی باز هم کوچکترند.

بنابراین رابطهٔ $P = P_0 + Dh$ از نظر فیزیکی رابطه‌ای است عملی که می‌توان به‌وسیلهٔ آن فشار درون مایع را تا عمق محدودی با دقت متوسط حساب کرد. رابطهٔ جدید ما درصورتی به‌این رابطه تبدیل می‌شود که اثر افزایش وزن حجمی را با افزایش فشار درنظر نگیریم. از نظر ریاضی بدین‌معنی است که بگوییم آب تراکم ناپذیر است یا اینکه بگوییم وزن حجمی آب ثابت و B بی‌نهایت بزرگ است و تمام جملاتی که B در مخرج آنهاست صفرند.

ولی اگر احتیاج به برآورد دقیق‌تری از فشار مخصوصاً در عمقهای زیاد داشته باشیم جملهٔ تصحیحی سوم را نیز در محاسبه وارد می‌کنیم. از نظر نمودار، این همان اختلافی است که بین دو خط توپر و نقطه‌چین در شکل ۱ــ۳ مشاهده می‌شود. جملهٔ چهارم و جمله‌های بعدی به قدری کوچك هستند که در محاسبات کمتر بکار می‌روند

است که شما را با تعدادی از این اندیشه‌ها و پدیده‌ها آشنا نماید و شما را در شادی و لذتی که از کاربرد آنها نصیب مردم می‌شود شریک سازد.

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) چه عاملهایی در فشار درون مایعات می‌توانند مؤثر باشند؟

۲) اگر وزن مخصوص آب خالص را ۱۰۰۰ کیلوگرم نیرو بر مترمکعب بگیرید چه تفاوتی میان فشار در عمق ده‌متر آب خالص و عمق ده‌متری آب دریا وجود دارد؟ فشار هوا را در سطح آب یک کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع بگیرید.

۳) دربارهٔ کدام یک از پیشگوییهای زیر کاملاً مطمئن هستید و دربارهٔ کدام شک دارید؟

آسپیرین همهٔ سردردها را برطرف می‌کند؛ فردا آسمان ابری خواهد بود؛ گرما همهٔ اجسام جامد را منبسط می‌کند؛ بیشتر اجسام در اثر گرما منبسط می‌شوند.

۴) در کتاب «سیر تکاملی علم فیزیک»[1] تألیف آلبرت اینشتین و لئوپولد اینفلد، مؤلفان اظهار داشته‌اند «نتایجی که مستقیماً و بدون درنگ از مشاهدات گرفته می‌شوند هیچگاه قابل اعتماد نیستند.» دربارهٔ این موضوع با ذکر مثال چند جمله بنویسید.

پاسخ به پرسشهای متن

۱ـ۱) چون وزن هر متر مکعب آب دریا درحدود ۱۰۷۰ کیلوگرم نیروست وزن ۵ متر مکعب آب دریا درحدود ۱۰۷۰ × ۵ یا ۵۳۵۰ کیلوگرم نیروست.

۱ـ۲) فشار وارد از طرف آب در عمق ۱۰ متری سطح دریا تقریباً برابر ۱۰۷۰۰ = ۱۰ × ۱۰۷۰ کیلوگرم نیرو بر متر مربع یا ۱٫۰۷ کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع است. فشار کل تقریباً برابر است با:

کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع ۲٫۰۷ = ۱٫۰۷ + ۱ = P

۱ـ۳) فشار وارد از طرف نفت برابر است با: ۱۶۰۰ = ۲ × ۸۰۰ کیلوگرم نیرو بر مترمربع یا ۰٫۱۶ کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع و اگر فشار هوا را در سطح نفت ۱ کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع

۱ــ این کتاب توسط آقای احمد [illegible] تحصیلی [illegible] ۱۳۲۷ به فارسی ترجمه شده است

بگیریم فشار کل برابر است با: $P=۱+۰/۱۶=۱/۱۶$ کیلوگرم نیرو بر سانتیمتر مربع.

۱-۴) ابتدا نموداری مانند شکل ۱-۲ کتاب روی کاغذ میلیمتری به دقت رسم کنید. سپس روی محور افقی از نقطه‌ای که معرف عمق ۷/۵ متر است خطی بر این محور عمود کنید تا نمودار را قطع کند. از این محل تقاطع خط دیگری بر محور نمایش فشارها عمود کنید و در محل برخورد این خط با محور، فشار را به دقت بخوانید. اگر محورها و نمودار را امتداد دهید همین کار را می‌توانید برای عمق ۱۵ متری انجام دهید.

۱-۵) چون به ازای هر یک متر عمق تقریباً ۰/۱ کیلوگرم نیرو به فشار اضافه می‌شود شیب نمودار شکل ۱-۲ تقریباً برابر است با $\frac{\Delta P}{\Delta h}=\frac{۰/۱}{۱}=۰/۱\frac{kgf/cm^2}{m}$

۱-۶) نه، اگر حدود کاربرد این معادله را بدانیم برای تعیین فشار در آن حدود معادلهٔ خوبی است.

۲

اندازه‌گیری طول و جرم و زمان

اندازه‌گیری و اهمیت آن

برای این که پدیده‌های دوروبرخود را بهتر بشناسیم باید اطلاع درستی از آنها داشته‌باشیم. بخشی از این اطلاع از راه اندازه‌گیری به دست می‌آید. اندازه‌گیری در فعالیتهای روزانهٔ ما نیز سهم بزرگی دارد

وقتی که ظرفیت یك کامیون را برحسب تُن می‌سنجیم یا برنج را برحسب کیلوگرم و الماس را برحسب قیراط[1] می‌خریم با اندازه‌گیری وزن مواجه هستیم. هنگامی که طول قامت خود را تعیین می‌کنیم یا چند متر پارچه می‌خریم یامعین می‌کنیم که به‌وسیلهٔ اتومبیل چند کیلومتر راه پیموده‌ایم طول را اندازه گرفته‌ایم. همچنین موقعی که از سن خود گفتگومی‌کنیم، یا قرارملاقات می‌گذاریم یا تعداد ساعتهایی را که کار کرده‌ایم یادداشت می‌نماییم زمان را اندازه گرفته‌ایم.

به‌مردم و شغلهایشان توجه کنید: پزشك دمای بدن، نبض‌وفشارخون مریضهای‌خودرااندازه می‌گیرد. دهقان مقدار شیری را که از پستان گاو خود می‌دوشد اندازه‌می‌گیرد. خانه‌داراجزای‌آنچه را که‌برای‌پختن یك غذا احتیاج‌دارداندازه می‌گیرد. دانشمند ومحقق ازبی‌نهایت بزرگ مانند ابعادجهان تابی‌نهایت کوچك مانند قطراتم‌را اندازه می‌گیرد. اندازه‌گیری آن‌قدر با زندگی‌روزانهٔ ما آمیخته است که‌به‌آن خو گرفته‌ایم.

دانش فیزیك نیز از اندازه‌گیری مایه گرفته است. می‌توان با اطمینان گفت که اگر ما نتوانیم شیئی را اندازه بگیریم در بارهٔ آن، چیز معنی‌داری نمی‌دانیم.

چگونه اندازه می‌گیریم؟

وقتی می‌خواهیم کمیتی را اندازه بگیریم باید دوعمل جدا گانه‌را انجام دهیم: نخست انتخاب واحد اندازه گیری (یا اِستاندارد) مناسب، دوم مقایسهٔ کمیت اندازه‌گرفتنی با واحد انتخاب شده. مثلاوقتی که می‌گوییم‌طول کلاس درس ۱۰ متراست به‌این معنی است‌که آن را با واحدی به‌نام مترسنجیده‌ایم.

انتخاب واحد اندازه‌گیری مناسب خیلی مهم است زیرا نه‌تنها درعلوم بلکه درصنعت هم‌بدون داشتن استانداردهای خوب اندازه‌گیری دقیق ممکن نیست. بنابراین درهریك‌از کشورهای پیشرفتهٔ جهان اداره‌ای به‌نام اداره استانداردها زیرنظر دولت وجود دارد که کارش تهیهٔ استاندارد و نظارت بر واحدهایی است‌که در تجارت وکسب وصنعت و اندازه‌گیریهای علمی به کار می‌روند. درکشورما مؤسسهٔ استاندارد وتحقیقات صنعتی ایران عهده‌دار نظارت بر اجرای صحیح استانداردها درکشور است.

۱ــ قیراط معادل ۰/۲ گرم است.

انتخاب استانداردهای بین‌المللی اندازه‌گیری

در جهان امروز بین بیشتر کشورها ارتباط بازرگانی‌وفرهنگی‌خیلی‌نزدیک‌برقراراست‌ومردم‌برای داد وستدکالاها یاتبادل نظرهای علمی وصنعتی‌احتیاج به‌استانداردهای یکسانی دارند. براساس همین‌احتیاج و برای هماهنگ‌کردن واحدها، کنفرانس بین‌المللی اوزان ومقادیر درسال ۱۳۳۹ شمسی (۱۹۶۰میلادی) سفارش کرد که همهٔ‌کشورهادستگاه واحدهای‌بین‌المللی راکه باعلامت اختصاری «SI»[1] نشان داده می‌شود در اندازه‌گیریهای علمی وصنعتی و تجارتی به‌کاربرند.

واحدهای دستگاه بین‌المللی از واحدهای دستگاهی به نام دستگاه «MKS» که آن را دستگاه متریک[2] نیزمی‌گویند گرفته شده‌است. دراین دستگاه واحد طول، متر(m) و واحد جرم، کیلوگرم (kg) و واحد زمان، ثانیه (s) و MKS نمایش حرفهای اول کلمه‌های متر، کیلوگرم، ثانیه است.

پیشوندهای واحدها در دستگاه SI

یکی از ویژگیهای دستگاه SI این است که تقسیمات واحدهای آن دهدهی (اعشاری) است. یعنی هر واحدی با واحدهای بزرگتریاکوچکتر ازخودش با مضربی از ۱۰ یا از $\frac{1}{10}$ ارتباط دارد و هریک از این مضربها دارای نام ویژه‌ای است که به صورت پیشوند جلونام واحدها اضافه می‌شود. درجدول ۲ـ۱ تعدادی ازاین پیشوندها داده شده است.

جدول ۲ـ۱

نام پیشوند	معنی پیشوند	علامت اختصاری
میکرو	یك میلیونیم	μ
میلی	یك هزارم	m
سانتی	یك صدم	c
دسی	یك دهم	d
دکا	ده	da
هکتو	صد	h
کیلو	هزار	k
مگا	میلیون	M

مثلا سانتیمتر یعنی یك‌صدم متر، میلیگرم یعنی یك هزارم گرم، میکرو ثانیه یعنی یك میلیونیم ثانیه، کیلوگرم یعنی‌هزار گرم، هکتولیتر یعنی‌صدلیتر، . . . .

واحدهای اصلی وفرعی

واحدهای دستگاه SI به دو دستهٔ اصلی و فرعی تقسیم شده‌اند. واحدهای کمیتهای طول وجرم و زمان

۱- Système internationale (به‌زبان فرانسوی)

۲- Système metrique (به‌زبان فرانسوی)

واحدهای اصلی نامیده می‌شوند زیرا هریك از آنها به طورمستقل انتخاب شده است و بستگی به‌واحدهای دیگرندارد. ولی واحدهای کمیتهای دیگر مستقل نبوده وبستگی به‌واحدهای‌اصلی دارند. به‌همین جهت آنها را واحدهای فرعی می‌نامند. مثلا واحد سرعت یك‌واحد فرعی است زیرا برای اندازه‌گیری سرعت متوسط یك دوچرخه سوار باید زمانی را که حرکت کرده است و مسافتی را که در این زمان پیموده است اندازه‌گرفت ومسافت را برزمان تقسیم‌کرد.

طول و اندازه‌گیری آن

انتخاب واحد اندازه‌گیری طول

واحد اندازه‌گیری طول متر است. برای این که طرز انتخاب و تعریف واحد اندازه‌گیری در نظرتان مجسم شود به داستان پیدایش متر توجه‌کنید. در سال ۱۷۹۱ میلادی یك هیئت علمی فرانسوی، که دستگاه متریك را ابداع‌کرد، تصمیم‌گرفت واحدطول را برابر یکده میلیونیم فاصلهٔ بین استوا وقطب زمین در روی نصف‌النهاری که از شهر پاریس می‌گذرد انتخاب‌کند. درآن زمان ربع طول نصف‌النهار زمین با دقت اندازه‌گیری ویك ده میلیونیم‌آن روی میله‌ای که ازآلیاژپلاتین وایریدیم[1] ساخته شده بود با فاصلهٔ بین دوخط موازی نشان داده شد.

پرسش ۲-۱ـ به نظر شما بـرای تعیین طول ربع نصف‌النهار زمین، یعنی فاصلهٔ استوا تاقطب، باید تمام طول را اندازه‌گرفت یا اندازه‌گیری قسمت کوچکی از آن‌کافی است؟

فاصلهٔ بین این دو خط موقعی‌که میله در دمای صفر درجهٔ سلسیوس نگاه داشته شده باشد به‌نام «متر» اعلام گردید. شرط نگاه داشتن میله در دمای صفر درجه لازم بود زیرا فلز در اثر افزایش یا کاهش‌دما منبسط یا منقبض می‌شود، بنابراین فاصلهٔ دوخط روی میلهٔ پلاتین- ایریدیم وقتی‌که دما صفر درجهٔ سلسیوس باشد درست یك متر است.

برای حفظ این نمونهٔ اصلی، آن را در موزهٔ اوزان و مقادیر بین‌المللی واقع درشهر سِوْر[2] درکشور فرانسه نگاهداری کردند و از روی آن نمونه های دیگری ساختند وهرنمونه را به‌کشوری‌که درخواست کرده بودفرستادند.

هرمتربه‌۱۰۰سانتیمتر(cm) یا ۱۰۰۰میلیمتر (mm) تقسیم می‌شود. برای تعیین فاصله‌های بزرگ مانند فاصلهٔ شهرها کیلومتر (km) را به‌کار می‌بریم که برابر ۱۰۰۰متر است. طول سنجهایی را که ما روزانه به کار می‌بریم به‌صورت متر یا نیم متر فلزی

۱- Platinium - Iridium

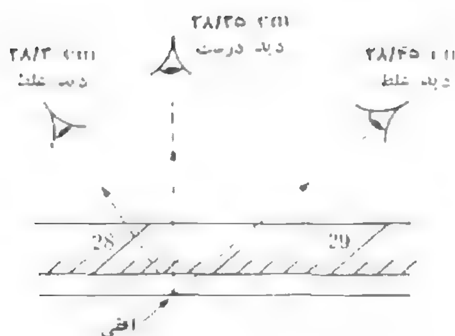
۲- Sèvres

یا چوبی یا نوارهای فلزی یا پارچه‌ای است که به سانتیمتر ومیلیمتر مدرج شده‌اند.

چگونه طول را اندازه می‌گیریم؟

برای اندازه گیری طول یك شیء کافی است که طول‌سنج را در کنار طولی که می‌خواهیم اندازه بگیریم، بگذاریم و تعداد درجه‌هایی از طول‌سنج را که برطول شیء منطبق است بخوانیم.

چون خط‌کشهای مدرج‌چوبی معمولا لبهٔ‌کلفتی دارند وقتی که آنهارا برای اندازه گیری طول به‌کار می‌بریم باید چشم خود را درست مقابل درجه‌ای که می‌خواهیم بخوانیم بگیریم تا در خواندن درجه‌اشتباه نکنیم (شکل۲ـ۱).

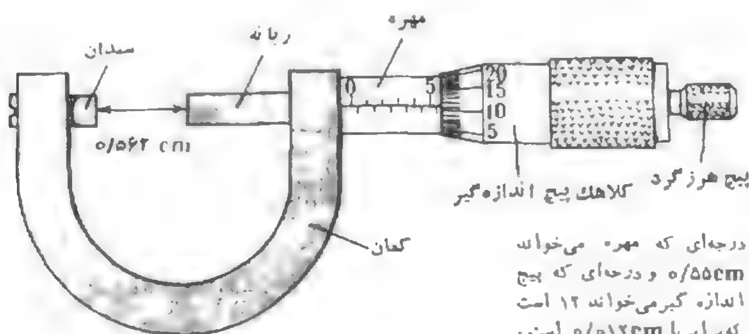


شکل ۲-۱- طرز خواندن درست درجه

بدیهی‌است طولهایی‌راکه ازطول خود خط‌کش مدرج خیلی بزرگتر یا از کوچکترین درجهٔ روی آن کوچکتر باشند نمی‌توانیم با آن اندازه بگیریم. مثلا ما نمی‌توانیم طول نصف‌النهار زمین یا فاصلهٔ ماه تا زمین یا ضخامت یك‌ورقهٔ‌کاغذ را با یك خط‌کش مدرج اندازه بگیریم بلکه برای اندازه گیری هریك ازآنها باید اسباب و روش ویژه‌ای به‌کاربریم.

پرسش ۲-۲- آیا می‌دانید فاصلهٔ ماه تازمین چگونه اندازه گرفته می‌شود؟

ضخامت ورقهٔ کاغذ یا قطر سیم نازك و مانند اینها را با اسبابی به نام ریزسنج (میکرومتر) اندازه می‌گیرند. این اسباب از ترکیب یك پیچ و یك مهرهٔ مدرج مطابق با شکل۲ـ۲ساخته شده‌است. فاصلهٔ بین هر دو درجهٔ متوالی روی مهره نیم میلیمتر است. دور لبهٔ کلاهك پیچ به پنجاه درجه تقسیم شده وباك پیچ نیزنیم میلیمتر است یعنی اگرپیچ یك‌دور بپیچد دهانهٔ ریزسنج نیم میلیمتر بازمی‌شود. بنابراین وقتی پیچ به

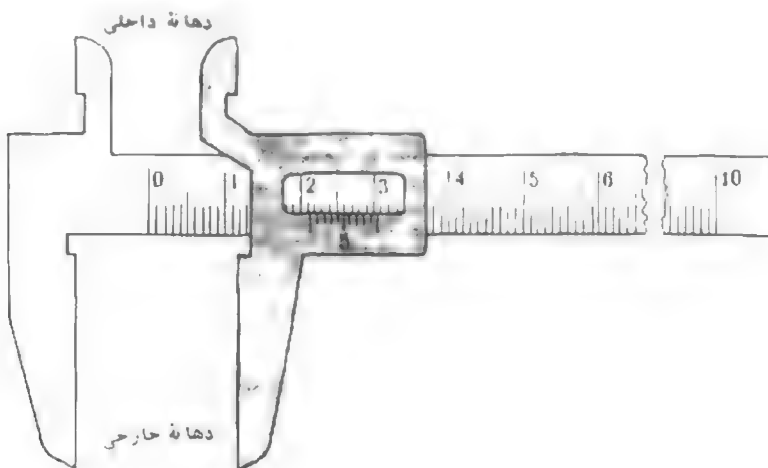


اندازهٔ یك درجه بپیچد دهانهٔ ریزسنج به اندازهٔ یك بیجاهم ازنیم میلیمتر یعنی به‌اندازهٔ یك صدم میلیمتر بازمی‌شود. درنتیجه می‌توان طولهایی تا $\frac{1}{100}$ میلیمتر را با ریزسنج اندازه گرفت.

پرسش ۲-۳. قطرذره‌های خیلی کوچك‌مانند ذره‌های گرد و غبار معلق در هوا یا قطر گلبولهای خون را باچه اسبابی اندازه می‌گیرند؟

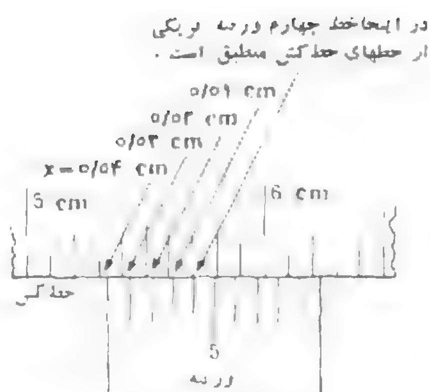
قطر یك گلوله یا قطر داخلی و قطر خارجی یك لوله را که نمی‌توان با دقت و به آسانی با یك خط‌کش مدرج اندازه گرفت با «کولیس» اندازه می‌گیرند. کولیس از ترکیب یك خط‌کش مدرج فولادی و یك «وَرْنیه» متحرك درست شده است (شکل ۲-۳). کلمهٔ ورنیه از نام مخترع آن پی‌یرورنیه[1] فرانسوی گرفته شده است. خط‌کش فولادی برحسب میلیمترمدرج ویك سر آن به‌گیره‌ای متصل است. روی ورنیه درجه‌بندی کوچکی است که شامل ۱۰ قسمت بوده ومعادل ۹ میلیمتر است. یعنی ۹ میلیمتر در روی ورنیه به ۱۰ قسمت مساوی تقسیم شده‌است. بنابراین هردرجهٔ ورنیه به اندازهٔ $\frac{1}{10}$ میلیمتر ازهردرجهٔ روی خط‌کش کوچکتر است. در موقع اندازه‌گیری با کولیس، جسم اندازه گرفتنی‌را میان گیرهٔ ثابت و گیرهٔ متحرك ورنیه قرار می‌دهیم به طوری‌که دو گیره با بدنهٔ جسم تماس داشته باشند، سپس به کمك ورنیه و خط‌کش اندازهٔ طول جسم را معین می‌کنیم.

شکل (۲-۳) یك خط‌کش مدرج و یك ورنیه را نشان می‌دهد که‌عدد ۵۲/۴ میلیمتر روی‌آن خوانده می‌شود. کسر میلیمتر که در شکل به x نمایش داده شده دراینجا (۰/۴) است وبدین‌طریق معین می‌شود که می‌بینیم چهارمین خط ورنیه (نسبت به صفر آن) بریکی ازخطهای خط‌کش منطبق است. اگر از این خط به طرف صفر ورنیه توجه کنیم مشاهده می‌شود که اختلاف بین هر درجهٔ ورنیه و خط‌کش مرتباً



شکل ۲-۳- کولیس

1_ Pierre Vernier



شکل ۲-۴- چگونه ورنیه را می‌خوانیم؟

۰/۱ میلیمتر افزایش می‌یابد تا به ۰/۴ میلیمتر برسد. با کولیس به‌آسانی می‌توانیم تا $\frac{۱}{۱۰}$ میلیمتر را اندازه بگیریم.

پرسش ۲-۴- اگر در اندازه‌گیری با یک کولیس، صفر ورنیه بین میلیمترهای ۲۱ و ۲۲ خط‌کش و خط پنجم ورنیه درست مقابل یکی از خطهای خط‌کش باشد کولیس چه اندازه‌ای را نشان می‌دهد؟

واحدهای اندازه‌گیری سطح و حجم

واحدهای اندازه‌گیری سطح و حجم مشتق از واحد طول هستند.

واحد اندازه‌گیری سطح متر مربع ($m^۲$) است یعنی مربعی که طول هر ضلعش یک متر است.

پرسش ۲-۵- یک متر مربع به چند سانتیمتر مربع ($cm^۲$) و به چند میلیمتر مربع ($mm^۲$) تقسیم می‌شود؟

مساحت هر سطح را می‌توانیم به روش هندسی تعیین کنیم. مساحت سطحهایی را که شکل منظم دارند می‌توانیم حساب کنیم. مثلا برای تعیین مساحت یک سطح مستطیل شکل کافی است که طول و عرض آن را اندازه بگیریم و درهم ضرب کنیم یا برای تعیین سطح یک دایره شعاع آن را اندازه بگیریم و مجذور شعاع را در عدد ۳/۱۴ = π ضرب کنیم. اگر شعاع دایره را به r نمایش دهیم مساحت دایره به‌صورت $A = \pi r^۲$ نوشته می‌شود.

پرسش ۲-۶- اگر سطحی شکل هندسی منظمی نداشته باشد چگونه مساحت آن را تعیین می‌کنید؟

واحد اندازه‌گیری حجم متر مکعب ($m^۳$) است یعنی مکعبی که طول هر ضلع آن یک متر است.

پرسش ۲-۷- یک متر مکعب چند سانتیمتر مکعب ($cm^۳$) و چند میلیمتر مکعب ($mm^۳$) است؟

حجم اجسامی را که شکل هندسی منظمی دارند می‌توانیم به‌روش هندسی حساب کنیم. مثلا برای تعیین حجم یک استوانه کافی است که شعاع قاعده و ارتفاع آن را اندازه بگیریم و مساحت قاعده را حساب کرده در ارتفاع ضرب کنیم. اگر r نمایش شعاع قاعده و h نمایش ارتفاع استوانه باشد حجم آن چنین نوشته می‌شود:

$$V = \pi r^۲ h$$

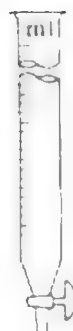
برای تعیین حجم یک کره کافی است که قطر کره را اندازه بگیریم و از دستور زیر حجم آن را حساب کنیم:

$$V = \frac{۴}{۳}\pi r^۳$$

r شعاع کره است.

پرسش ۲-۸- اگر جسم جامدی شکل هندسی منظمی نداشته باشد حجم آن‌را چگونه می‌توان تعیین کرد؟

حجم مایعات را برحسب لیتر (l) یا میلی‌لیتر (ml) می‌سنجند. لیتر برابر هزار سانتیمتر مکعب



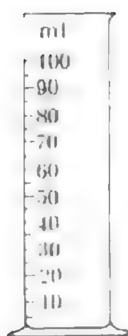
بورت



پیپت



بالون اندازه‌گیری



استوانهٔ مدرج

شکل ۲-۵- ظرفهای مدرج برای اندازه‌گیری حجم مایعها

(یک‌هزارم مترمکعب) و میلی لیتر برابر یک سانتیمتر مکعب است. درآزمایشگاهها برای تعیین حجم مایعها از ظرفهای استوانه‌ای مدرج، بورت ، پیپت و مانند آنها استفاده می‌شود (شکل ۲-۵).

عددهای خیلی بزرگ و خیلی کوچک را چگونه بنویسیم؟

عددهای خیلی بزرگ مانند فاصلهٔ کهکشان ازرمین (حدود ۱۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ متر) یا خیلی کوچک مانند قطر پروتون (حدود ۰/۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۱ متر) را به‌صورتی که دراینجا نوشته‌شده‌اند به‌دشواری می‌توان تصور کرد و به‌کاربرد . برای این که نمایش این‌گونه عددها و کاربردشان در محاسبه‌آسانتر شود آنها را به‌صورت توان ۱۰ نمایش می‌دهند. بدین سان:

$$۱۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ = ۱۰^{۲۵}$$

$$۰/۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۱ = ۱۰^{-۱۵}$$

هرعدد بزرگ یا کوچک‌را می‌توانیم به‌صورت حاصل ضرب یک عدد بین ۱ و ۱۰ ضرب‌درتوان ۱۰ نمایش دهیم، مانند:

$$۶۰۰ = ۶ \times ۱۰۰ = ۶ \times ۱۰^{۲}$$

$$۷۹۴۰ = ۷/۹۴ \times ۱۰۰۰ = ۷/۹۴ \times ۱۰^{۳}$$

$$۰/۰۲۲ = ۲/۲ \times ۰/۰۱ = ۲/۲ \times ۱۰^{-۲}$$

$$۲۸۰,۰۰۰,۰۰۰ = ۲/۸ \times ۱۰۰,۰۰۰,۰۰۰ = ۲/۸ \times ۱۰^{۸}$$

عدد ۲۸۰,۰۰۰,۰۰۰ را می‌توانیم به‌صورت ۲۸×۱۰^{۷} نیز نمایش دهیم ولی معمولاً یك رقم در طرف چپ ممیز باقی‌می‌گذارند وبقیهٔ رقمهارا به‌صورت اعشاری بعدازممیز نشان می‌دهند، یعنی $۲/۸ \times ۱۰^{۸}$.

در جدول ۲-۲ پاره‌ای از توانهای ۱۰ عددها نمایش داده شده است.

پرسش ۲-۹- شعاع مدار حرکت الکترون دراتم ئیدروژن تقریباً ۰/۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰,۵۲۹ متر وشعاع کرهٔ زمین‌تقریباً ۶,۳۷۸,۰۰۰ متراست. این عددهارا به‌صورت توانهای ۱۰ نمایش دهید.

جدول ۲-۲

پاره‌ای از توانهای ۱۰ عددها	
$10^{0}=1$	$10^{-10}=0/000,000,0001$
$10^{1}=10$	$10^{-9}=0/000,000,001$
$10^{2}=100$	$10^{-8}=0/000,000,01$
$10^{3}=1,000$	$10^{-7}=0/000,000,1$
$10^{4}=10,000$	$10^{-6}=0/000,001$
$10^{5}=100,000$	$10^{-5}=0/000,01$
$10^{6}=1,000,000$	$10^{-4}=0/0001$
$10^{7}=10,000,000$	$10^{-3}=0/001$
$10^{8}=100,000,000$	$10^{-2}=0/01$
$10^{9}=1,000,000,000$	$10^{-1}=0/1$
$10^{10}=10,000,000,000$	

نمایش عددها بصورت توان ۱۰ محاسبهٔ عددی را آسان می‌کند. بمثالهای زیر توجه کنید:

مثال ۱ :

$$\frac{3800\times 0/00054\times 0/0001001}{430,000,000\times 73}$$

$$=\frac{3/8\times 10^{3}\times 5/4\times 10^{-3}\times 1\times 10^{-6}}{4/3\times 10^{8}\times 7/3\times 10^{1}}$$

$$=\frac{3/8\times 5/4}{4/3\times 7/3}\times\frac{10^{3}\times 10^{-3}\times 10^{-6}}{10^{8}\times 10^{1}}$$

$$\simeq 0/65\times 10^{(3-3-6-8-1)}$$

$$=0/65\times 10^{-15}=6/5\times 10^{-16}$$

مثال ۲ :

$$4\times 10^{4}+5\times 10^{3}+2\times 10^{5}$$

$$=4\times 10^{4}+0/5\times 10^{4}+20\times 10^{4}$$

$$=24/5\times 10^{4}=2/45\times 10^{5}$$

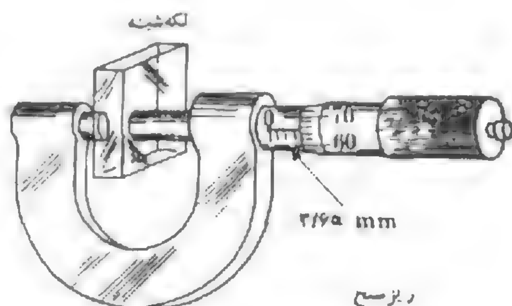
اندازه‌گیریها تقریبی هستند

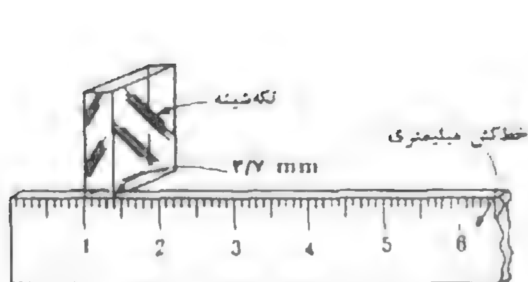
درنظر بگیرید که می‌خواهید ضخامت یك قطعه شیشه را اندازه بگیرید و برای اندازه‌گیری آن ابتدا یك خط‌کش مدرج، سپس یك ریزسنج به‌کارمی‌برید. کوچکترین درجهٔ روی خط‌کش میلیمتر است. وقتی که خط‌کش را به‌کار می‌برید ضخامت شیشه را کمی کوچکتر از ۴ میلیمتر می‌یابید و آنرا ۳/۷ میلیمتر تخمین می‌زنید. ولی هنگامی که ریزسنج را به کار

می‌برید ضخامت شیشه را ۳/۶۵ میلیمتر به دست
می‌آورید زیرا با ریزسنج می‌توانید تا ۰/۰۱ میلیمتر
اندازه بگیرید (شکل ۲-۶). در اینجا روی کمیت
مورد نظر دو اندازه‌گیری انجام داده‌اید و در هر دو
مقداری را که نزدیک به اندازهٔ واقعی ضخامت شیشه
است بدست آورده‌اید ولی دقت اندازه‌گیری دومی
بیشتر است. دقت اندازه‌گیری شما در هر یک از
این روشها بسته به این است که عدد معرف اندازهٔ کمیت
را تا چند رقم توانسته‌اید به دست آورید. هریک از
این رقمها را رقم معنی دار می‌نامند. تعداد رقمهای
معنی‌دار در یک اندازه‌گیری معرف دقت در آن
اندازه‌گیری است. در مثال بالا با خط‌کش مدرج،
ضخامت شیشه ۳/۷ میلیمتر اندازه گرفته شده ونتیجهٔ
اندازه‌گیری با دو رقم معنی‌دار بدست آمده است. در اینجا
می‌توانید با اطمینان بگویید که رقم ۳ درست ومطمئن
است اما رقم ۷ مشکوک است، زیرا نمی‌توانید دهم میلیمتر
را روی خط‌کشی که برحسب میلیمتر مدرج شده است
به‌طور مستقیم بخوانید و آن را تخمین زده‌اید. اندازهٔ
دقیق‌تر ۳/۶۵ میلیمتر است که با ریزسنج بدست آمده
است. در این اندازه‌گیری ۳ رقم معنی دار وجود
دارد که در آن رقمهای ۳ و ۶ مطمئن هستند ولی رقم ۵
مشکوک است زیرا در حد دقت ریزسنج است. باید یادآور
شویم که آخرین رقم در هر اندازه‌گیری همواره
مشکوک است.

پرسش ۲-۱۰- طول قامت شخصی چهار مرتبه
با نوار متر فلزی اندازه‌گیری شده و اندازه‌های ۱/۷۳
و ۱/۷۴ و ۱/۷۶ و ۱/۷۸ متر به دست آمده است.
چه عددی به اندازهٔ حقیقی طول قامت شخص نزدیکتر
است؟ در این عدد چند رقم معنی‌دار وجود دارد؟

مثالهای بالا فقط در بارهٔ اندازه‌گیری طول
است ولی در هر اندازه‌گیری مقدار تقریبی کمیت
اندازه گرفتنی به‌دست می‌آید. میزان تقریب از تعداد
رقمهای معنی‌دار معین می‌شود و هرچه تعداد این رقمها
بیشتر باشد دقت اندازه‌گیری بیشتر است. بدیهی است
تعداد رقمهای معنی‌دار بستگی به اسباب اندازه‌گیری
دارد یعنی هرچه اسباب اندازه‌گیری دقیق‌تر ساخته
شده باشد نتیجهٔ اندازه‌گیری دقیق‌تر خواهد بود





جدول ۲-۳- مرتبهٔ بزرگی پاره‌ای از فاصله‌ها

فاصله‌ها	مرتبهٔ بزرگی برحسب متر
فاصلهٔ دورترین شیئی که از آن عکس گرفته‌اند (دورترین کهکشانها) . . .	$۱۰^{۲۵}$
فاصلهٔ ستارهٔ قطبی از زمین.	$۱۰^{۱۹}$
فاصلهٔ نزدیکترین ستاره به‌زمین	$۱۰^{۱۷}$
فاصلهٔ خورشید از زمین.	$۱۰^{۱۱}$
شعاع خورشید.	$۱۰^{۹}$
فاصلهٔ متوسط ماه از زمین.	$۱۰^{۸}$
شعاع زمین—فاصلهٔ تهران از لندن.	$۱۰^{۷}$
شعاع ماه	$۱۰^{۶}$
ارتفاع بلندترین قله‌کوههای زمین از سطح دریا.	$۱۰^{۴}$
طول زمین فوتبال	$۱۰^{۲}$
ضخامت شیشهٔ پنجرهٔ اتاق	$۱۰^{-۳}$
ضخامت ورقهٔ کاغذ	$۱۰^{-۴}$
قطر گلبول قرمز خون	$۱۰^{-۵}$
ضخامت نازکترین حباب صابون که رنگی به نظر می‌رسد.	$۱۰^{-۷}$
فاصلهٔ متوسط اتمها در یك حجم جامد بلوری	$۱۰^{-۱۰}$
اندازهٔ قطر بزرگترین هستهٔ اتم	$۱۰^{-۱۴}$
قطر یك پروتون	$۱۰^{-۱۵}$

حدود طولهایی که اندازه می‌گیریم

حدود طولهایی که روزانه با اندازه‌گیری آنها سر وکار داریم و اندازهٔ آنها را خوب درك می‌کنیم تقریباً هزار برابر بزرگتر یا کوچکتر از متر است ولی می‌توانیم طولهای خیلی بزرگ مانند فاصلهٔ ستارگان از زمین ، یا طولهای خیلی کوچك مانند قطر یك پروتون را نیز اندازه بگیریم . (در سالهای بعد روشهای این‌گونه اندازه‌گیریها را خواهید آموخت.) حدود بزرگی بعضی ازفاصله‌هایی که‌اندازه گرفته‌شده‌اند درجدول۲-۳ نشان داده شده است. در این‌جدول اندازهٔ واقعی فاصله‌ها داده نشده‌بلکه مرتبهٔ بزرگی آنها مشخص گردیده است . مثلا شعاع کرهٔ زمین تقریباً ۶٬۳۷۰٬۰۰۰ متر یا $۰/۶۳ \times ۱۰^{۷}$ متر یعنی ازمرتبهٔ $۱۰^{۷}$ متر است ومنظور ما این است که بتوانید حدود فاصله‌ها را با هم مقایسه کنید.

خودتان آزمایش کنید

۱) قطر یک سکهٔ یک‌ریالی و یک مداد را با خط‌کش مدرج و کولیس و ریزسنج اندازه بگیرید و نتایج را با هم مقایسه و رقمهای معنی‌دار را معین کنید.

۲) قطر یک توپ پینگ پونگ را با کولیس اندازه بگیرید و حجم آن را برحسب سانتیمتر مکعب حساب کنید و رقمهای معنی‌دار آن را مشخص نمایید.

۳) صد برگ کاغذ دفتر یا صد برگ کتاب را بشمارید و روی هم قرار دهید و به‌وسیلهٔ یک کولیس یا خط‌کش مدرج ضخامت آنها را اندازه بگیرید و بر صد تقسیم کنید و ضخامت یک برگ از این کاغذها را به‌دست آورید. سپس با یک ریزسنج ضخامت یک برگ کاغذ را اندازه بگیرید و نتیجه‌های دو اندازه‌گیری را با هم مقایسه کنید.

طول و عرض هر برگ کاغذ را نیز اندازه بگیرید و حجم صد برگ کاغذ و همچنین حجم یک برگ آن را حساب کنید.

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) در شکلهای ۲ـ۳ و ۲ـ۲ روی کولیس و ریزسنج چه اندازه‌هایی خوانده می‌شود؟

۲) با چه اسبابهایی اندازه‌گیریهای زیر را انجام می‌دهید؟

قطر یک سیم، قطر داخلی و قطر خارجی یک لوله، ضخامت متوسط این کتاب.

۳) چرا باید هنگام اندازه‌گیری با متر نمونه، که درمورد سور است دما همواره صفر درجهٔ سلسیوس باشد؟

۴) حجم یک اتاق مکعب مستطیل شکل را چگونه اندازه می‌گیرید؟

۵) چگونه حجم یک توپ بسکتبال را معین می‌کنید؟

۶) توضیح دهید: الف ـ چگونه حجم داخلی یک ظرف استوانه‌ای شکل را با یک خط‌کش مدرج می‌توانید اندازه بگیرید؟ ب ـ چگونه همین حجم را به وسیلهٔ یک ظرف استوانه‌ای مدرج می‌توانید اندازه بگیرید؟

۷) مسافتی که کیلومترشمار یک اتومبیل در یک ساعت نشان می‌دهد برابر است با عدهٔ دورهای چرخ اتومبیل ضربدر محیط چرخ. اگر هنگامی که لاستیکها نو هستند کیلومترشمار این مسافت را بادقت نشان دهد چرا وقتی که لاستیکها فرسوده می‌شوند کیلومترشمار، همین مسافت را با دقت نشان نمی‌دهد؟ علت را با استدلال توضیح دهید.

۸) حجم یک مکعب جامد اسفنجی شکل (متخلخل) را به دو طریق زیر اندازه گرفته و دو مقدار مختلف به دست آورده‌ایم:

الف ـ با اندازه‌گیری طول ضلع آن و محاسبهٔ حجمش.

ب ـ با فرو بردن در آب درون ظرف استوانه‌ای مدرج و اندازه‌گیری تغییر حجم آب. علت این

اختلاف چیست؟ این اختلاف چه چیز را نشان می‌دهد؟

۹) ضلعهای دو سطح مربع شکل به نسبت ۲ و ۱ هستند:

الف ـ نسبت مساحتهای این دو مربع چیست؟

ب ـ آیا بین مساحتهای هر دو سطح متشابه که ابعاد آنها نظیر به نظیر به نسبت ۲ و ۱ هستند همین نسبت برقرار است؟

۱۰) الف ـ اگر طول ضلع هریک از وجه‌های یک مکعب دو برابر شود حجم آن چند برابر خواهد شد؟

ب ـ از یک مجسمهٔ کوچک نمونهٔ بزرگتری ساخته‌اند که هریک از بعدهای آن دو برابر بعد نظیرش در مجسمهٔ اصلی است. حجم این نمونه چند برابر حجم مجسمهٔ اصلی است؟

این مسئله‌ها را حل کنید

۱) با مراجعه به جدول ۲ـ۲ حساب کنید قطر خورشید در حدود چند برابر قطر زمین است؟

۲) سال نوری، یعنی مسافتی را که نور درمدت یک سال می‌پیماید حساب کنید و آن را به صورت توان ۱۰ نمایش دهید. سال نوری واحد چه کمیت فیزیکی است؟

۳) عددهای زیر را به صورت توان ۱۰ نمایش دهید:

۷ و ۲۵ و ۴۳۴۵۶ و ۰/۴۵ و ۰/۰۰۴۵ و ۰/۰۰۰۰۴۵

۴) فرض کنید که اتم ئیدروژن فضای مکعب شکلی را اشغال می‌کند که هر ضلع آن $۵/۰ \times ۱۰^{-۱۱}$ متر است. حدود بزرگی حجم این اتم را حساب کنید.

جرم

جرم و وزن

می‌دانید که وزن یکی از خواص ماده است و هرچه مقدار مادهٔ موجود دریک جسم بیشتر باشد وزن آن بیشتر است. همچنین خواهید دید که وزن یک جسم برابر نیروی جاذبه‌ای است که از طرف زمین بر آن جسم وارد می‌شود. ولی وزن مقدار ثابتی نیست و در مکانهای متفاوت تغییر می‌کند به‌طوری که ممکن است جسم در فضا در حال بی‌وزنی باشد در صورتی که «مقدار ماده» یعنی مجموعهٔ اتمهای موجود در آن ثابت می‌ماند. مقدار مادهٔ موجود در یک جسم جرم آن جسم نامیده می‌شود و چون درشرایط عادی مقدار ماده در جسم تغییر نمی‌کند، جرم آن نیز ثابت می‌ماند. آلبرت اینشتین[۱] با محاسبه نشان داده است که جرم یک جسم مطلقاً ثابت نیست بلکه با افزایش سرعت حرکت جسم افزایش می‌یابد (رابطهٔ اینشتین را در این باره درسالهای بعد خواهید دید) ولی تغییر جرم فقط برای سرعتهای نزدیک

۱ـ Albert Einstein

به سرعت سیر نور محسوس است

پرسش ۲-۱۱ـ آیا می‌دانید سرعت سیر نور یعنی مسافتی که نور در یك ثانیه می‌پیماید چه اندازه است؟

چون اجسام بزرگ را نمی‌توانیم با چنین سرعتهایی حرکت دهیم تغییرجرم آنها در اثر حرکت ناچیز است و تغییر جرم فقط برای ذره‌هایی مانند الکترونها و پروتونها که می‌توانند با سرعت خیلی زیاد حرکت کنند منظور می‌گردد.

هرچه جرم جسمی بیشتر باشد به حرکت در آوردن آن از حالت سکون دشوارتر است.

درنظر بگیرید که سه‌قوطی حلبی‌یکسان ودربسته در راه شما وجود دارد که یکی خالی و دیگری پر از رنگ وسومی پر از سرب است و شما میخواهید با ضربهٔ لگدآنها را ازراه خود کنار بزنید. قوطی‌خالی با لگد شما به سرعت پرتاب می‌شود ، قوطی محتوی رنگ با سرعت کم روی زمین می‌غلتد ولی قوطی محتوی سرب احتمالاً به‌پای شما آسیب می‌رساند. جرم قوطی خالی کمتر ازجرم قوطی رنگ وجرم این‌یکی کمتر ازجرم قوطی محتوی سرب است. می‌توان گفت که هرچه جرم جسمی بیشتر باشد مقاومت آن درمقابل تغییر سرعت بیشتر است. این مقاومت درحقیقت همان اینرسی است که در سالهای پیش با آن آشنا شده‌اید و مانند وزن یکی از خواص ماده است.

چگونه جرم را اندازه می‌گیریم؟

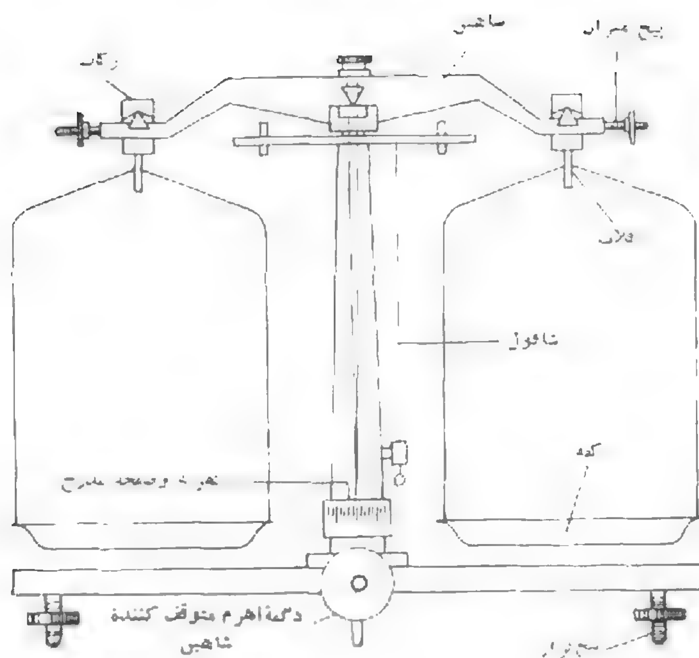
چون جرم متناسب با وزن است (در صفحهٔ ۶۲ رابطهٔ بین وزن و جرم را خواهید دید) برای تعیین جرم یك جسم کافی است نیروی جاذبه‌ای‌را که زمین بر آن وارد می‌سازد با نیروی جاذبه‌ای که از طرف زمین بر یك جرم استاندارد وارد می‌شود مقایسه کنیم واین‌کار را با یك ترازوی شاهین‌دار انجام می‌دهیم.

شاهین به وسیلهٔ تیغهٔ کاردك وسط ، روی بالشك پایه تکیه دارد و کاردکهای حامل کفه‌ها به فاصله‌های مساوی از کاردك وسط قرار داده شده‌اند. هنگامی که کفه‌ها خالی هستند نوك عقربهٔ ترازو درست مقابل صفر صفحهٔ مدرج قرار می‌گیرد و ترازو درحال تعادل است. جسم را دریك‌کفهٔ ترازو قرارمی‌دهیم و آن قدر جرم استاندارد درکفهٔ دیگر می‌گذاریم تادوباره عقربهٔ آن مقابل صفر قرار گیرد. در این حالت جرمها با هم برابر و نیروهای جاذبه‌ای‌که از طرف زمین بر آنها وارد می‌شود نیز برابر است.

شکل۲ـ۷ نقشهٔ یك ترازوی شاهین‌دار معمولی آزمایشگاه را نشان می‌دهد که حساس‌تر از ترازوهای معمولی است . در ترازوهای خیلی دقیق کاردکهای شاهین و کفه‌ها و همچنین بالشکهای آنها (یعنی تکیه گاه و کاردکها) همه ازعقیق یا اجسامی مشابه‌آن که خیلی محکم هستند ساخته می‌شوند. تیغهٔ کاردکها خیلی تیز و درنتیجه شکننده است و اگر ترازو تکان ناگهانی بخورد تیغه به‌آسانی کند می‌شود. بنابراین وقتی‌که ترازو کار نمی‌کند یا قبل ازاین‌که بخواهید جسمی را در کفهٔ آن بگذارید باید شاهین را با دگمهٔ اهرمی که به همین منظور ساخته شده است متوقف سازید. این اهرم‌کاردك شاهین را از تماس با بالشك پایه خارج می‌سازد

واحد اندازه‌گیری جرم

واحد اندازه‌گیری جرم در دستگاه بین‌المللی





شکل ۲-۷- نقشهٔ یك ترازوی شاهین‌دار
معمولی آزمایشگاه



SI «کیلوگرم» نام دارد و با علامت اختصاری kg نشان داده می‌شود. کیلوگرم، جرم قطعهٔ استوانه‌ای شکلی است که از آلیاژ طلای سفید و ایریدیم ساخته شده ونمونهٔ اصلی‌آن دراداره‌ٔاوزان ومقادیر بین‌المللی در سور نگاهداری می‌شود. از روی این نمونهٔ اصلی نمونه‌های مشابهی ساخته شده و به کشورهای دیگر فرستاده‌اند. شکل۲-۸ تصویر کیلوگرم‌نمونه‌را که در موزهٔ سور نگاهداری می‌شود نشان می‌دهد. واحد بزرگتر از آن تُن[۱] (t) برابر ۱۰۰۰kg و واحدکوچکتر ازآن گرم (g) برابر $\frac{۱}{۱۰۰۰}$ کیلوگرم است. یك کیلوگرم دراصل معادل جرم ۱۰۰۰ سانتیمترمکعب آب خالص در دمای ۴ درجهٔ سلسیوس انتخاب شده است. اما اختلاف کوچکی بین جرم کیلوگرم نمونه وجرم هزارسانتیمترمکعب‌آب خالص است به طوری که یك‌کیلوگرم در حال حاضر معادل جرم ۱۰۰۰/۰۲۸ سانتیمتر مکعب آب خالص ۴°C است.

۱- tonne

حدود جرمهایی که اندازه می‌گیریم

جرمهای خیلی کوچك مانند جرم الکترون یا خیلی بزرگ که مانند جرم ستارگان با روشهای خاصی معین می‌شوند . این روشها را به تدریج در سالهای بعد خواهیدآموخت. جرم‌الکترون $۹/۱۱ \times ۱۰^{-۳۱}$ کیلو گرم، جرم زمین $۵/۹۸۳ \times ۱۰^{۲۴}$ کیلو گرم و جرم‌خورشید که ستارهٔ متوسطی‌است $۱/۹۸ \times ۱۰^{۳۰}$ کیلو گرم است . بین این دو حد جرمهای متداولی است که هرروز باآنها سروکارداریم. مثلاجرم یك‌متر مکعب‌آب تقریباً ۱۰۰۰ کیلو گرم وجرم یك اتومبیل سواری درحدود ۱۵۰۰ کیلو گرم‌است. درجدول ۲-۴ مرتبهٔ‌بزرگی بعضی ازجرمهانشان داده شده‌است. این اعداد معرف میزان‌واقعی جرم اجسام نیستند و منظور ما این است که شما تصوری از حدود بزرگی جرم



شکل ۲-۸- کیلوگرم نمونه که در موزهٔ سور نگاهداری می‌شود

جدول ۲-۴- مرتبهٔ بزرگی جرمهای اجسام

جرمهایی که‌باترازو یا باسکول اندازه گرفته می‌شوند		جرمهایی که با روشهای دیگر معین می‌شوند	
نوع جسم	مرتبهٔ‌بزرگی برحسب کیلوگرم	نوع جسم	مرتبهٔ بزرگی برحسب کیلوگرم
بال مگس	$۱۰^{-۷}$	الکترون	$۱۰^{-۳۰}$
مسکوك	$۱۰^{-۲}$	مولکول اکسیژن	$۱۰^{-۲۵}$
یك لیتر آب	$۱۰^{۰}$	گلبول خون	$۱۰^{-۱۳}$
انسان	$۱۰^{۲}$	باکتری	$۱۰^{-۱۱}$
یك مترمکعب آب و یك اتومبیل سواری متوسط	$۱۰^{۳}$	کشتی	$۱۰^{۷}$
		ماه	$۱۰^{۲۳}$
		زمین	$۱۰^{۲۵}$
		خورشید	$۱۰^{۳۰}$

جسم را سنجه نامید.

جرم حجمی

در برخوردهای روزانه پی برده‌اید که موادی مانند آهن و سرب سنگین‌تر از موادی مانند آلومینیم و چوب هستند. در فیزیک این خاصیت را با اصطلاح دقیق‌تری بیان کرده و می‌گوییم آهن چگال‌تر از آلومینیم است. به‌عبارت دیگر، جرم حجم معینی از آهن بیشتر از جرم همین حجم از آلومینیم است و چون وزن هر جسم در یک مکان متناسب با جرم آن است می‌توان گفت که وزن حجم معینی از آهن نیز بیشتر از وزن همان حجم آلومینیم است

جرم حجمی یک جسم (که در سابق آن‌را جرم مخصوص می‌گفتند) بنا به‌تعریف جرم واحد حجم آن جسم است و برحسب $\frac{\text{کیلوگرم}}{\text{متر مکعب}}$ ($\frac{kg}{m^3}$) بیان می‌شود. مثلاً وقتی که می‌گوییم جرم حجمی آهن ۷۸۰۰ $\frac{\text{کیلوگرم}}{\text{متر مکعب}}$ است بدین معنی است که جرم یک متر مکعب آهن ۷۸۰۰ کیلوگرم است. جرم حجمی را می‌توانید برحسب $\frac{\text{گرم}}{\text{سانتیمتر مکعب}}$ ($\frac{g}{cm^3}$) نیز بیان کنید. مثلاً جرم حجمی آهن ۷/۸ $\frac{\text{گرم}}{\text{سانتیمتر مکعب}}$ است، یعنی یک سانتیمتر مکعب آهن ۷/۸ گرم جرم دارد. برای اندازه‌گیری جرم حجمی یک ماده، نمونه‌ای از آن را انتخاب می‌کنیم و جرم و حجم آن را اندازه می‌گیریم و جرم حجمی آن‌را از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آوریم:

$$\text{جرم حجمی} = \frac{\text{جرم}}{\text{حجم}} \quad \text{یا} \quad \rho = \frac{m}{V}$$

پرسش ۳-۱۲ـ اگر جرم یک قطعه نقره ۲۱۵ گرم و حجم آن ۲۵ سانتیمتر مکعب باشد جرم حجمی آن چند $\frac{\text{گرم}}{\text{سانتیمتر مکعب}}$ و چند $\frac{\text{کیلوگرم}}{\text{متر مکعب}}$ است؟

می‌توانید جرم حجمی یک جسم را نسبت به جرم حجمی جسم دیگر بسنجید. برای این منظور کافی است که جرم حجم معینی از جسم را بر جرم همان حجم از جسم دیگر تقسیم کنید. این خارج قسمت چگالی نسبی نامیده می‌شود. معمولاً چگالی اجسام جامد و مایع را نسبت به آب می‌سنجند، یعنی:

$$\text{چگالی جسم نسبت به آب} = \frac{\text{جرم حجمی جسم}}{\text{جرم حجمی آب}}$$

چون جرم حجمی آب خیلی نزدیک به $1000\ \frac{kg}{m^3}$ یا $1\ \frac{g}{cm^3}$ است چگالی اجسام نسبت به آب به آسانی حساب می‌شود. چگالی بدون واحد بیان می‌گردد. مثلاً وقتی که می‌گوییم چگالی آهن نسبت به آب ۷/۸ است یعنی جرم یک متر مکعب آهن ۷/۸ برابر جرم یک متر مکعب آب است.

خودتان آزمایش کنید

۱) جرم حجمی یک جسم جامد را که شکل هندسی دارد معین کنید. برای این منظور:

الف ـ جرم آن‌را با ترازو اندازه بگیرید.

ب ـ ابعاد آن‌را با وسیله‌ای که در اختیار دارید اندازه بگیرید و حجم آن‌را حساب کنید.

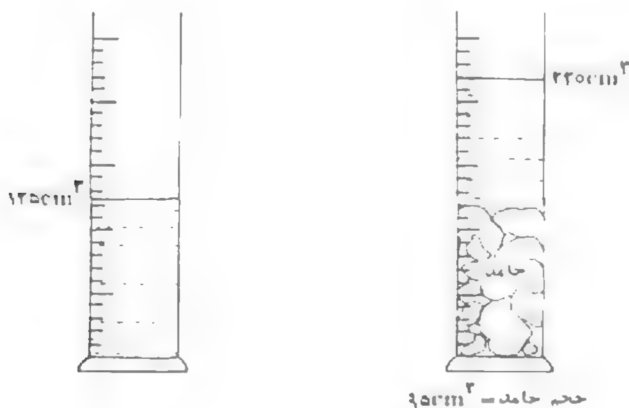
ج ـ جرم حجمی آن را از رابطهٔ ($\text{جرم حجمی} = \frac{\text{جرم جسم}}{\text{حجم جسم}}$) به‌دست آورید.

بهتر این است که آزمایش را با قطعه‌های مختلف از این جسم تکرار کنید و ببینید که همواره یك عدد را برای جرم حجمی آن به‌دست می‌آورید. مثلاً قطعه چوبی را که شکل هندسی منتظمی دارد به‌سه قطعهٔ نامساوی با اره ببرید و آزمایش را روی هر قطعه جداگانه انجام دهید و نتیجه‌ها را باهم مقایسه کنید.

۲) جرم حجمی یك جسم جامد نامنظم را که درآب حل نمی‌شود تعیین کنید:

الف ـ جرم آن را اندازه بگیرید.

ب ـ آن را در آب درون استوانهٔ شیشه‌ای مدرجی که تانیمه درآن آب ریخته‌اند فرو برید و حجمش را معین کنید (شکل۲ـ۹)، سپس جرم حجمی آن را حساب کنید.



شکل ۲ـ۹ـ تعیین حجم جسم جامد به‌وسیلهٔ ظرف استوانه‌ای مدرج

۳) جرم حجمی یك مایع مانند نفت یا الکل را تعیین کنید. برای این منظور یك تنگ نشانه‌دار را که حجم معینی دارد (۵۰ یا ۱۰۰ سانتیمترمکعب) انتخاب کنید.

الف ـ جرم تنگ خالی را باترازو اندازه بگیرید.

ب ـ تنگ را تا نشانه از مایع مورد نظر پر کنید و جرم تنگ و مایع را اندازه بگیرید وجرم مایع خالص را حساب کنید.

ج ـ جرم مایع خالص را بر حجم آن تقسیم کنید و جرم حجمی مایع‌را به‌دست‌آورید وباجرم حجمی آب مقایسه کنید.

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) چه فرقی بین وزن و جرم یك جسم است؟

۲) چرا وزن یك جسم در نقاط مختلف زمین تغییر می‌کند ؟

۳) چگونه یك ترازوی شاهین دار را برای اندازه‌گیری جرم یك جسم به کار می‌برید ؟

۴) توضیح دهید چرا یك ترازوی شاهین‌دار جرم یك جسم را در سطح دریا و در قلهٔ کوه به یك اندازه نشان می‌دهد؟

۵) درسطح تراز دریا دو جسم را با یك ترازوی فنری وزن کرده‌ایم. وزن یکی دوبرابر دیگری است:

الف ـ نسبت جرمهای این دوجسم چیست؟

ب ـ درنظر بگیرید که این دوجسم را دربالای کوهی باهمین ترازو وزن می‌کنیم. آیا تغییری درنسبت وزنهای آنها پیدا می‌شود؟ توضیح دهید.

۶) کرایهٔ حمل بار به وسیلهٔ کامیون از روی وزن (یاجرم) بار و فاصلهٔ پیموده شده معین می‌شود. واحدی برای محاسبهٔ کرایه درنظر بگیرید که در آن جرم و مسافت منظور شده باشد.

۷) جرم حجمی یعنی چه؟ چه فرقی بین جرم حجمی و چگالی نسبی یك جسم وجود دارد؟

۸) چگونه جرم حجمی یك جسم را معین می‌کنند؟

۹) در جملهٔ «طلا سنگین‌تر از آلومینیم است» چه چیز غلط است؟ این جمله را با تغییردادن یك کلمه درست کنید!

۱۰) رابطه‌ای بنویسید که نشان دهد جرم یك سیم مسی یکنواخت متناسب باطول آن است. معنی ضریب تناسب در رابطه‌ای که می‌نویسید چیست؟ نمودار این رابطه را روی کاغذ میلیمتری رسم کنید.

۱۱) رابطه‌ای بنویسید که نشان دهد جرم یك جسم همگن متناسب با حجم آن است. ضریب این تناسب معرف چیست؟

۱۲) اگر جرم یك مکعب فلزی یك کیلوگرم باشد چه جرمهایی از همان فلز لازم است تا مکعبی ساخته شود که

الف ـ هرضلعش دوبرابر ضلع این مکعب باشد؟

ب ـ هرضلعش سه برابر ضلع این مکعب باشد؟

ج ـ هرضلعش n برابر ضلع این مکعب باشد؟

۱۳) دو مکعب که دارای ضلعهای مساوی هستند هردو از نقره ساخته شده‌اند ولی درون یکی از آنها حفره‌ای موجود است. چگونه حجم حفرهٔ درون این مکعب را تعیین می‌کنید؟

۱۴) افزایش دما چه اثری در روی جرم و جرم حجمی یك قطعه آهن دارد؟ توضیح دهید.

این مسئله‌ها را حل کنید

۱) در یك مخزن نگاهداری ماهی (آکواریم) که طول آن ۱٫۰۰ متر و عرضش ۰٫۴۰ متر است تا ارتفاع

۰٫۳۰ متر آب ریخته شده است. جرم این آب تقریباً چند کیلوگرم است؟

۲) در یك ظرف استوانه‌ای مدرج تا درجهٔ ۴۰٫۵ سانتیمتر مکعب آب ریخته شده است. هرگاه یك قطعه مس را درآب درون این ظرف فروببریم سطح آب به درجهٔ ۶۳٫۹ سانتیمتر مکعب می‌رسد. اگر جرم حجمی مس $8/9 \frac{g}{cm^3}$ باشد جرم قطعهٔ مس چند گرم است؟

۳) جرم ۵۰ سانتیمتر مکعب از یك محلول اسید سولفوریك ۶۵ گرم است. جرم حجمی این محلول را برحسب g/cm^3 و $\frac{kg}{m^3}$ حساب کنید.

۴) جرم حجمی آلومینیم $2700 \frac{kg}{m^3}$ است. جرم شمشی ازآلومینیم به‌طول ۱٫۰ متر و به‌عرض ۰٫۵۰ متر و به‌ضخامت ۰٫۰۰۱۵ متر چه اندازه است؟

۵) مجسمهٔ کوچکی به‌جرم ۲۱۰ گرم ازنقره ساخته شده است. اگر جرم حجمی نقره $10/5 g/cm^3$ باشد حجم این مجسمه چند سانتیمتر مکعب است؟

۶) چگالی گوگرد نسبت به‌آب ۲ است. حجم یك کیلوگرم گوگرد چقدر است؟

۷) حجم کرهٔ زمین از روی شعاعش تقریباً $1/1 \times 10^{21} m^3$ حساب شده است. به‌فرض این‌که جرم حجمی متوسط زمین $5/5 \times 10^3 \frac{kg}{m^3}$ باشد جرم تقریبی زمین را حساب کنید.

زمان

مسئلهٔ اندازه‌گیری زمان

همهٔ ما ساعت را برای اندازه‌گیری زمان به کار می‌بریم و با احساس زمان هر روز از زندگی خود را می‌گذرانیم. به نظر می‌رسد که اندازه‌گیری زمان در زندگی روزانه مسئلهٔ ساده‌ای است. ولی اشکال کار وقتی ظاهر می‌شود که بخواهیم زمان را از میلیونها سال پیش که مورد احتیاج زمین شناسان است تا یك بیلیونیم ثانیه که توسط اتم شناسان به کار می‌رود با دقت اندازه بگیریم.

آدمی درطول مدت زندگی خود وسیله‌های زیادی را برای اندازه‌گیری زمان به‌کار برده و روز بروز آنها را کاملتر کرده است ولی تنها در این پنجاه سال اخیر توفیق یافته است تا زمانهایی چنین بزرگ و کوچك را که بیان کردیم اندازه بگیرد. انسان همواره شبانه روز را به عنوان استاندارد طبیعی زمان به کار برده است و آن را به ۲۴ ساعت و هرساعت را به ۶۰ دقیقه و هر دقیقه را به ۶۰ ثانیه تقسیم کرده است. سال را نیز برای تعیین زمان رویدادهای تاریخی یا تعیین عمر خود به‌کار برده است، اما کاربرد آن به‌عنوان استاندارد به آسانی شبانه روز نیست. برای تعیین زمانهای کوتاهتر، مدتها انسان زمان ریختن شن را از یك ظرف به ظرف دیگر (ساعت شنی) یا زمان پر

شدن یك تشت را از آب که ته‌آن سوراخ ریزی تعبیه کرده و روی آب قرار می‌داده است یا مدت سوختن یك شمع را به‌کار برده است.

از آغاز قرن هفدهم میلادی فکر استفاده از آونگ (پاندول) برای تنظیم حرکت ساعتها به وسیلهٔ گالیله دانشمند ایتالیایی (۱۶۴۲ – ۱۵۶۴ میلادی) پایه‌گذاری شد. همهٔ شما ساعتهای دیواری آونگدار را دیده‌اید: وزنه‌ای که به انتهای میله‌ای آویزان شده است و نوسان می‌کند با نوسانهای خود حرکت عقربه‌های ساعت را تنظیم می‌نماید. درساعتهای کوچك ومچی کار آونگ را چرخ رقاصك با حرکت نوسانی خود انجام می‌دهد.

پرسش ۴-۱۳. با چه پدیده‌های تناوبی دیگر (الکتریکی، مکانیکی، نوری یا نجومی) که ممکن است در اندازه‌گیری زمان به‌کار روند آشنایی دارید؟

درفیزیك واحدی که‌ما اغلب برای اندازه‌گیری زمان به کار می‌بریم ثانیه است. ثانیه را چگونه باید تعریف کنیم تا حد امکان دقت در تعریف آن متصور شود؟

ساده‌ترین جواب این است که بگوییم ثانیه برابر $\frac{1}{86400}$ شبانه‌روز است. اما اشکال این تعریف وقتی ظاهر می‌شود که پی ببریم دانشمندان به اسبابهای نجومی دقیقی احتیاج دارند تا مدت شبانه‌روز را معین کنند و اشکال بزرگتر این که طول مدت شبانه روز همواره در تغییر است. گرچه این تغییرات خیلی کوچك است ولی وجود دارد. علاوه بر این برای تعیین طول شبانه‌روز باید ساعتهایی را به‌کار بریم که دقت آنها معلوم نیست. این اشکالها سبب شد به جای این‌که ثانیه را بر مبنای نجومی، یعنی حرکت زمین به دور خود یا به دور خورشید تعریف کنند بر اساس حرکت ارتعاشی طبیعی دیگری که دقت کافی داشته باشد تعریف نمایند. کوشش دانشمندان دراین راه به نتیجه رسید و ساعت اتمی برمبنای ارتعاشهای خاص اتمهای عنصر سزیم[1] ساخته شد. ازسال ۱۹۶۷ میلادی تعریف ثانیه‌که بر مبنای سال نجومی بود تغییرکرد و براساس دورهٔ تناوب ارتعاشهای خاص در اتمهای گاز سزیم قرار داده شد[2] زیرا دانشمندان پی‌بردند که اندازه‌گیری این دورهٔ تناوب دقیق‌تر از اندازه‌گیری طول مدت گردش زمین به‌دور خود است. دقت ساعت اتمی سزیم خیلی زیاد و خطای آن در حدود یك ثانیه در ۳۰۰۰ سال است. به همین جهت تنظیم زمان با این ساعت بهتر و دقیق‌تر از تنظیم آن با مشاهدات نجومی است.

اندازه‌گیری زمانهای بسیار بزرگ مسئلهٔ دیگری را به وجود می‌آورد، زیرا دراینجا فیزیکدان مجبور است که زمانهای گذشته مثلاً عمر یك قطعه سنگ را اندازه بگیرد و حال آن که ساعت، زمان جاری را اندازه می‌گیرد. دانشمندان برای اندازه‌گیری این‌گونه زمانها نیز راهی پیدا کرده‌اند و آن استفاده از خاصیت رادیواکتیویته است. پاره‌ای از عنصرها مانند اورانیم خود به خود به عنصرهای دیگر تبدیل می‌شوند. این گونه عنصرها را رادیواکتیو می‌گویند. هر تبدیل در زمان ثابت و معینی

1- Cesium

۲– بنابه تعریف، ثانیه مدتی است مساوی ۹۱۹۲۶۳۱۷۷۰ برابر دورهٔ تناوب پرتو مربوط به‌انتقال بین دو تراز بسیار ظریف وابسته به حالت بنیادی اتم سزیم ۱۳۳ (با مفهوم این تعریف درسالهای بعد در بخش فیزیك اتمی آشنا خواهید شد.)

صورت می‌گیرد که از ویژگیهای عنصر رادیواکتیو است. بنابراین اگر ما بتوانیم با روشهای تجربهٔ شیمیایی معین کنیم که چه مقدار از عنصر تبدیل شده و چه مقدار باقی مانده است می‌توانیم حساب کنیم که چه مدت این تبدیل طول کشیده است. فیزیکدانان می‌توانند با این روش تا ۲۰۰۰ میلیون سالهای گذشته را تعیین نمایند. با روشی مشابه، عمر اشیای عتیقه و آثار تاریخی و حتی عمر زمین نیز معین می‌گردد.

در جدول ۲ـ۵، مرتبهٔ بزرگی زمان پاره‌ای از رویدادها که مقایسهٔ آنها برای شما جالب توجه است به ثانیه داده می‌شود. برخی از این زمانها، مانند مدت عمر انسان، یا مدتی که نور طول اتاق را می‌پیماید اندازه‌های ثابتی ندارند بنابراین عددهای این جدول معرف اندازه‌های واقعی و دقیق زمانها نیستند بلکه فقط مرتبهٔ بزرگی آنها را نشان می‌دهند. در این جدول، زمانهایی متفاوت، از بیشتر از بیلیون‌ـ

جدول ۲ـ۵ـ مرتبهٔ بزرگی برخی از زمانها

رویداد	مدت به‌ثانیه
کل طول عمر خورشید	10^{18}
سن قدیمی‌ترین سنگها از زمان تشکیل نخستین فسیل تا کنون	10^{17}
از زمان تشکیل نخستین خشکی تا کنون مدتی که خورشید به دور کهکشان می‌چرخد	10^{16}
از زمان زندگی دینوزورها تا کنون	10^{15}
از زمان پیدایش انسان تا کنون	10^{13}
از زمان پیدایش نخستین کشت و زرع تا کنون از زمان پیدایش خط تا کنون	10^{11}
دورهٔ عمر انسان	10^{9}
حدود سن شما دانش‌آموزان این کلاس	10^{8}
مدتی که زمین یک دور به دور خورشید می‌چرخد (یک سال)	10^{7}
یک ماه	10^{6}
مدتی که زمین یک دور به دور خود می‌چرخد (یک روز)	10^{5}
مدتی که نور از خورشید به زمین می‌رسد	10^{3}
یک دقیقه	10^{2}
مدت ضربان قلب	10^{0}
مدتی که یک گلوله (با کالیبر ۳۰mm) طول یک میدان فوتبال را طی می‌کند	10^{-1}
مدت یک بار بال زدن مگس	10^{-3}
مدت یک ارتعاش زیرترین صوتی که شنیده می‌شود	10^{-4}
مدت ترکیدن یک ترقه	10^{-5}
مدت لازم برای این که در لامپ تصویر تلویزیون الکترونها از رشتهٔ ملتهب به صفحه برسند	10^{-7}
مدتی که نور طول اتاق را می‌پیماید	10^{-8}
مدتی که نور ضخامت شیشهٔ پنجره را می‌پیماید	10^{-11}
مدتی که الکترون اتم ئیدروژن به دور پروتون هستهٔ خود می‌چرخد	10^{-15}
مدتی که الکترون اولین لایه در یک اتم سنگین به‌دور هستهٔ خود می‌چرخد	10^{-20}
مدتی که نور قطر هستهٔ اتم را می‌پیماید	10^{-25}

بیلیون ثانیه تا کمتر از یك بیلیونیم بیلیونیم ثانیه نوشته شده است و شما می‌توانید به‌آسانی حدود بزرگی این زمانها را با یکدیگر مقایسه کنید. مثلا می‌توانید برآورد کنید که یك روز در حدود 10^{8} برابر مدت یك بار بال زدن مگس است.

مدت زمانهایی که ما، بنا بر تجربه‌های شخصی خود، می‌توانیم به طور مستقیم درك کنیم بین $\frac{1}{10}$ ثانیه تا 10^{9} ثانیه (که حدود دورهٔ زندگیمان است) واقعند.

خودتان آزمایش کنید

جسم کوچکی مانند گلوله را به نخ سبکی ببندید و آن را به پایه‌ای آویزان کنید. بدین ترتیب یك آونگ ساده خواهید داشت. آونگ را کمی از حالت تعادل منحرف کرده و رها سازید تا با دامنهٔ کم نوسان کند. زمان ۲۰ نوسان کامل (۲۰ رفت و برگشت) آن را با کرونومتر یا با ساعت اندازه بگیرید و زمان یك نوسان آن را حساب کنید. آزمایش را برای دامنه‌های نوسان کوچکتر تکرار کنید و ببینید زمان نوسان آونگ ثابت است.

طول پاندول را با تجسس طوری انتخاب کنید که زمان یك نوسان کامل آن درست یك ثانیه باشد. سپس طول آن را تغییر دهید تا این زمان ۲ ثانیه شود و طولها را با هم مقایسه کنید.

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) چه خاصیتی در پاندول آن را برای اندازه‌گیری زمان مناسب کرده است؟

۲) چرا ضربانهای نبض را نمی‌توان به عنوان وسیلهٔ دقیقی برای اندازه‌گیری زمان به‌کار برد؟

۳) معین کنید:

الف ــ در یك سال چند ثانیه است؟

ب ــ سن شما برحسب ثانیه چقدر است؟

۴) چه زمانی لازم است تا نور طول اتاقی را که ۶ متر است طی کند؟

۵) کوتاهترین زمانی که ممکن است دانستن آن برای شما جالب باشد زمانی است که نور قطر هستهٔ اتم ئیدروژن یعنی تقریباً $1/5 \times 10^{-15}$ متر را می‌پیماید. اگر نور در هر ثانیه 3×10^{8} متر را بپیماید این زمان چقدر است؟

۶) سه نفر زمانی را اندازه گرفته‌اند. مقدار آن را اولی ۴/۱ ثانیه، دومی ۴/۱۵ ثانیه و سومی

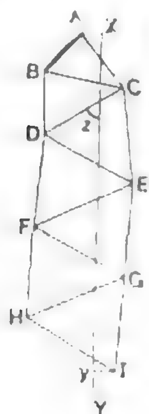
۱۵۵٫۴ ثانیه ثبت کرده است. آیا تفاوتی بین این اندازه گیریها وجود داشته است؟ توضیح دهید.

۷) در شیمی خوانده‌اید که عدهٔ مولکولهای موجود در یك مولکول گرم از هر گاز در شرایط متعارف تقریباً $۶٫۰۲ \times ۱۰^{۲۳}$ (عدد آووگادرو) است. فرض کنید که در هر ثانیه بدون درنگ یك هزار میلیارد ($۱۰^{۱۲}$ عدد) از این مولکولها را از ظرف خارج می‌کنید. حساب کنید چند سال لازم است تا همهٔ این مولکولها از ظرف خارج شوند. هر میلیارد ثانیه (یعنی $۱۰^{۹}$ ثانیه) را معادل ۳۳ سال بگیرید

پاسخ به پرسشهای متن

۲ـ۱) از استوا تا قطب به ۹۰ درجه تقسیم شده است. کافی است طول قسمتی از قوس یك درجه را روی یك نصف‌النهار اندازه بگیرند وطول قوس یك درجه را حساب کرده و در ۹۰ ضرب کنند. این اندازه‌ـ گیری با روشهای خاصی از آن جمله روش مثلث بندی صورت گرفته است.

فرض کنید XY نمایش خط نصف‌النهاری باشد که اندازه گیری قسمتی‌ازطول آن‌مورد نظر است شکل (۲ـ۱۰) در اطراف این خط، با در نظر گرفتن نقاطی مانند A وB وC و ... (که خود علامتهای قابل رؤیت هستند) یك رشته مثلث بنا می‌کنند به طوری که بتوان از هریك از این نقاط، مثلا نقطه C، دونقطه قبلی، یعنی A وB و دونقطه‌بعدی، یعنی D وE را دید، سپس اندازه گیریهای زیر را انجام می‌دهند



شکل ۲ـ۱۰. روش مثلث‌بندی برای اندازه‌ـ

۱ ـ اندازه گیری طول یك ضلع یکی از مثلثهای واقع‌در دو سر رشته مثلث بندی، مثلا ضلع AB از مثلث ABC این ضلع را در این رشته «قاعده» می‌نامند. بدیهی است این قاعده باید در روی یك زمین نسبتا هموار، چنان انتخاب شود که به آسانی قابل اندازه گیری باشد.

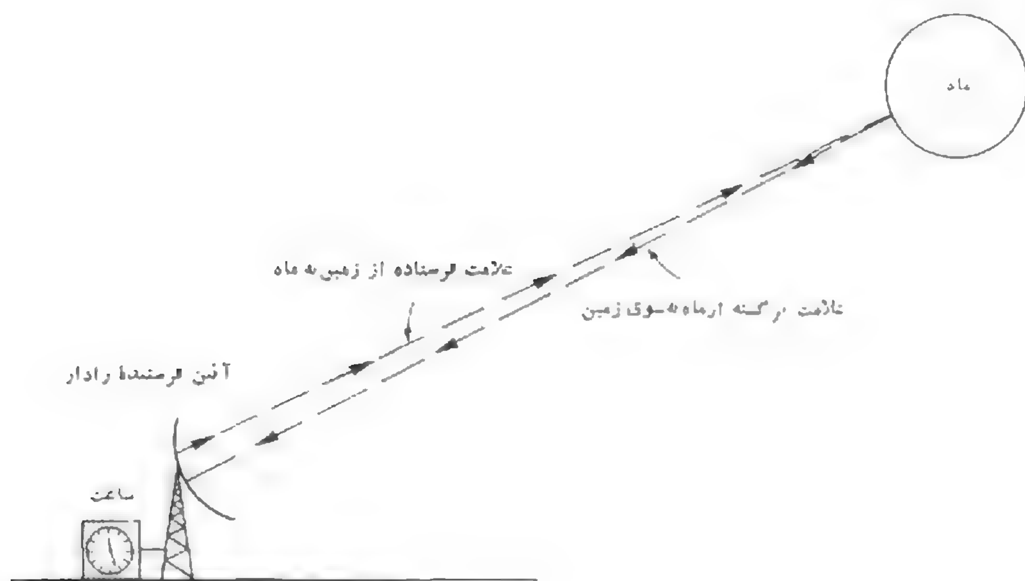
۲ ـ اندازه گیری زاویه‌های همه مثلث‌ها.

۳ ـ اندازه گیری سمت یك ضلع از یکی از مثلثها مثلا CD، یعنی زاویه‌ای که راستای این ضلع با خط نصف‌النهار می‌سازد. (زاویه‌ای که در شکل به Z نمایش داده‌شده است) این زاویه‌با استفاده ازروش سمت یابی(که از روش نجومی‌است) گیری طول قطعه‌ای از نصف‌النهار زمین.

اندازه گیری می‌شود. پس از این اندازه گیریها با استفاده‌از دستورهای مثلثاتی، از مثلث نخست که طول قاعده در آن معلوم است‌شروع می‌کنند و با دانستن زاویه‌ها، طول اضلاع آنها را یکی پس ازدیگری به دست می‌آورند، سپس‌طول تصویرهای این اضلاع راروی‌خط نصف‌النهارحساب می کنند. درنتیجه‌طول

قطعه x ۱ ازنصف‌النهار زمین که بین‌دو خط موازی در ابتدا و انتهای اندازه‌گیری(مثلا نقطه‌های A و I)
واقع است‌معین میشود. طول ربع نصف‌النهار زمین از روی‌این اندازه‌گیری با یك تناسب حساب می‌شود.

۲-۲) به وسیلهٔ امـواج رادار. بدین طریق که امواج رادار را از زمین به طرف ماه می‌فرستند و زمان رفت و برگشت آنها را اندازه می‌گیرند . سرعت امواج رادار نزدیك به ۳×۱۰^۸ متر درهر ثانیه است . اگر این سرعت در نصف زمان رفت و برگشت ضرب شود فاصلهٔ ماه از زمین به دست می‌آید . شکل



شکل ۲-۱۱- نمایش طریقهٔ اندازه‌گیری فاصلهٔ ماه از زمین

(۲-۱۱) طرحی از این اندازه‌گیری را به شما نشان می‌دهد.

۲-۳) با میکروسکوپ . بدین طریق که ذرات غبار معلق در هوا را روی صفحهٔ شیشه‌ای نازکی به وسیلهٔ پمپهای مکندهٔ خاصی متراکم می‌کنند و صفحه را زیر میکروسکوپ مدرجی قرار می‌دهند و قطر ذرات رااندازه می‌گیرند. برای اندازه‌گیری قطر گلبولهای خون یك قطرهٔ خون را روی‌صفحهٔ شیشه‌ای‌می‌گسترانند و آن را زیر میکروسکوپ قرار می‌دهند .

۲-۴) ۲۱/۵ میلیمتر

۲-۵) $۱۰^۴$ سانتیمتر مربع و $۱۰^۶$ میلیمتر مربع.

۲-۶) آن را به قطعه‌هایی که شکل هندسی دارند تقسیم کنید و با روش هندسی سطح هر قطعه را اندازه بگیرید و با هم جمع کنید.

۲ـ۷) $۱۰^۶$ سانتیمتر مکعب و $۱۰^۹$ میلیمتر مکعب.

۲ـ۸) در ظرف مدرجی مقداری آب یا مایع دیگر که برجسم اثری نداشته باشد بریزید و جسم را در آب یا مایع فروبرید و افزایش حجم مایع رااندازه بگیرید. این افزایش حجم برابرحجم جسم جامد است.

۲ـ۹) $۵/۲۹ \times ۱۰^{-۱۱}$ متر و $۶/۳۷۸ \times ۱۰^۶$ متر.

۲ـ۱۰) دادن پاسخ به این سؤال مشکل است جز این که بگوییم میانگین این چهار عدد را حساب می‌کنیم. این میانگین برابر است با ۱/۷۵۲۵ و چون هر اندازه‌گیری با سه رقم معنی‌دار مشخص شده است میانگین نیز باید با سه رقم معنی‌دار مشخص شود. بنابراین نتیجه را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:

$$۱/۷۵ \pm ۰/۰۲$$

۰/۰۲ را خطای احتمالی اندازه‌گیری می‌گویند.

۲ـ۱۱) در خلأ نزدیک به ۳×۱۰^۸ متر درهر ثانیه.

۲ـ۱۲) $$\rho = \frac{۲۱۰ g}{۲۰ cm^۳} = ۱۰/۵ g/cm^۳ = \frac{۱۰/۵ \times ۱۰^۶}{۱۰۰۰} = ۱۰۵۰۰\ kg/m^۳$$

۲ـ۱۳) نوسانات الکتریکی برق شهر، چکیدن منظم قطره‌های آب، تواتر امواج نورانی، گردش ماه به دور زمین.

۳

حرکت درروی خط راست

هر تغییری را که دوروبر خود مشاهده می‌کنید آثار حرکت را در آن می‌یابید. روز و شب در اثر گردش زمین به دور محورش پیدا می‌شود. پیدایش چهار فصل در نتیجهٔ حرکت زمین به دور خورشید است. بادها و اثرهای آنها در نتیجهٔ حرکت هوا به‌وجود می‌آیند. رشد گیاهان بستگی به حرکت آب و مواد غذایی درآنها دارد.

تبدیل موادخام موجود در زمین به محصولهایی که مورداحتیاج روزانهٔ ما درزندگی است مستلزم ترکیب چند حرکت است ازآن جمله انتقال مواد خام به کارخانه، ترکیب آنها به نسبتهای مناسب، شکل دادن آنها به‌صورت نهایی مصرف وانتقال آنها به‌بازار. هرگونه تغییری راکه در ماده بررسی کنید اثرحرکت را درآن خواهید یافت. عاملی که حرکت را تولید یا مهارمی‌کند نیروست. نیرو ونقش آن را درحرکت در بخشهای بعد خواهید دید. در این بخش فقط با مفهوم حرکت آشنا خواهید شد.

حرکت نسبی است

آیامی‌دانید هم اکنون که نشسته‌اید واین کتاب را می‌خوانید با چه سرعتی در فضا درحرکت هستید؟ این‌سؤال ممکن است به نظرشما شگفت‌آور باشد ولی واقعیت دارد. شما در هرثانیه در حدود ۳۰ کیلومتر یادرهرساعت درحدود صد هزار کیلومتر مسافت را در فضا طی می‌کنید. تا وقتی که روی زمین هستید همراه با آن و با سرعت حرکت زمین به دورخورشید می‌گردید ولی شمااین حرکت را حس نمی‌کنید و به‌آن هم کمتر می‌اندیشید. علت این است که هرگاه از حرکت شخص یا جسمی گفتگو می‌کنید آن را نسبت به سطح زمین می‌سنجید. چنین حرکتی را احساس می‌کنید، زیرا فاصلهٔ متحرك از اجسام ثابتی مانند ساختمانها یا درختان که در روی زمین بی‌حرکت به نظر می‌رسند تغییر می‌کند. بنابراین حق دارید هنگامی که درجای خود نشسته‌ایدخود رانسبت به زمین درحال سکون بدانید. درصورتی که درهمین هنگام با همهٔ اجسام دوروبرتان درحرکت زمین‌به دورخورشید شرکت دارید. به عبارت دیگر نسبت به زمین ساکن ولی‌نسبت به خورشید درحال‌حرکت هستید. بنابراین،

یك جسم ممکن است نسبت به یك ناظر متحرك و در همان حال نسبت به ناظر دیگر ساکن یا دارای حرکت متفاوت باشد. یعنی حرکت نسبی است.

مسئلهٔ نسبیت در حرکت حائز اهمیت است و باید به آن توجه کافی بشود. در نظر بگیرید که درون قطاری نشسته‌اید و به شهری نزدیك می‌شوید. در یك لحظه چشمهای خود را بسته و تصور کنید قطار ساکن است و این شهر است که به شما نزدیك می‌شود؛ آیا در نتیجهٔ امر تغییری رخ می‌دهد؟ مسلماً نه. در هر حال فاصلهٔ شهر و قطار کم می‌شود.

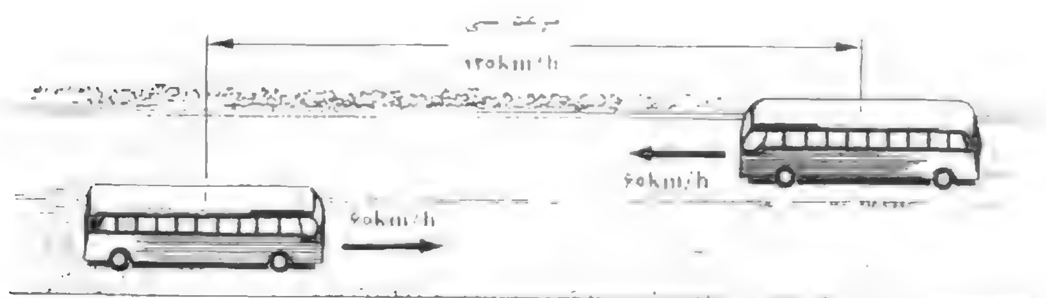
آیا اتفاق افتاده است که به وسیلهٔ قایقی در یك دریای آرام به ساحلی نزدیك شوید؛ در این مورد غالباً احساس می‌کنید که ساحل به شما نزدیك می‌شود در صورتی که شما با قایق به ساحل نزدیك می‌شوید ولی از لحاظ نتیجهٔ حرکت، هیچ تفاوتی نمی‌کند یعنی هر کدام را ساکن فرض کنید دیگری نسبت به آن درحال حرکت است.

به مثال دیگر توجه کنید: در نظر بگیرید که درون اتوبوسی نشسته‌اید و اتوبوس مثلاً با سرعت ۶۰ کیلومتر در ساعت در جاده‌ای حرکت می‌کند. شما نسبت به جاده درحرکت ولی نسبت به صندلیها یادیواره و کف اتوبوس بی‌حرکت هستید. اگر اتوبوس دیگری با همین سرعت جلو شما درحرکت باشد به طوری که فاصلهٔ دواتوبوس همواره ثابت بماند می‌توانید بگویید که اتوبوس جلوی نسبت به شما ساکن است، درصورتی که نسبت به ناظری که در کنار جاده ایستاده است حرکت می‌کند.

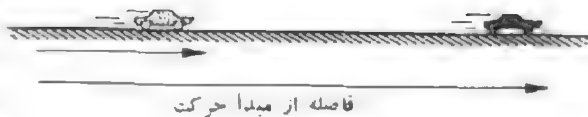
پرسش ۳-۱- اگر دو اتوبوس هردو با سرعت ۶۰ کیلومتر درساعت به هم نزدیك شوند سرعت نسبی آن دو چیست (شکل ۳-۱).

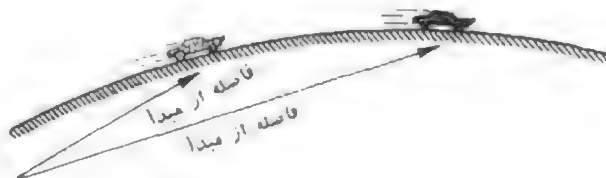
مسیر حرکت

وقتی که از خانه به مدرسه می‌روید یا ازمدرسه به خانه برمی‌گردید ازخیابانها و کوچه‌هایی می‌گذرید که مجموعهٔ آنها مسیر حرکت شما را تشکیل می‌دهند. به عبارت دیگر در صورتی که با اتومبیل ازجایی به جای دیگر بروید اثر چرخهای اتومبیل روی جاده مسیر حرکت شما را مشخص خواهد ساخت. در امتداد یك خیابان یا یك جادهٔ مستقیم ، مسیر حرکت خط مستقیم است ولی در پیچ یك خیابان یا یك جاده مسیر



شکل ۳-۱- سرعت نسبی دو اتوبوس چه اندازه است؟





شکل ۳-۲- درامتداد مسیر مستقیم فقط مقدار فاصله تغییر می‌کند درصورتی که درمسیرمنحنی هم مقدار وهم امتداد تغییر می‌نماید

منحنی خواهد بود. در مسیر مستقیم فقط مقدار فاصله تغییر می‌کند درحالی‌که در مسیرمنحنی هم مقدار وهم امتداد فاصله تغییر می‌نمایـد (شکل ۳ـ۲) .

پرسش ۳-۲- اگر مسیر متحرك دایره باشد فاصله چگونه تغییر می‌کند ؟

مبدأ مقایسه

در مطالعهٔ حرکت یك جسم، مقایسهٔ آن نسبت به یك مبدأ ، یا یك جسم دیگر مهم است . دربسیاری از حرکتها مبدأ مقایسه ، مکانی از سطح زمین است و در حالت ساده‌ای کـه حرکت روی یك خط راست صورت می‌گیرد بـاید مبدأ سنجش را نقطه‌ای روی این خط بگیریم . دراین صورت می‌توانیم بگوییم که جسم در هر لحظه در چه فاصله‌ای ازمبدأ است یا بـا چه سرعتی به مبدأ نـزدیك یا از آن دور می‌شود . در سالهای بعد حرکت در روی یك سطح (حرکت دو بعدی) و حرکت در فضا (حرکت سه بعدی) را خواهید دید . در اینجا فقط به بحث دربارهٔ حرکت روی خط راست خواهیم پرداخت.

سرعت متوسط

معمولاً وقتی که دربارهٔ حرکت یك جسم بحث می‌کنیم کلمهٔ سرعت را به‌کار می‌بریم. هرچه متحرك فاصلهٔ معینی را در زمان کوتاهتری طی کند می گوییم سرعت آن بیشتر است.

مثلا وقتی که شما با اتومبیل از خانه به مدرسه می‌روید زودتر از موقعی می‌رسید که پیاده این فاصله رامی‌پیمایید. به‌عبارت دیگر ، می گویید سرعت‌اتومبیل بیشتر ازسرعت پیاده است.

سرعت با مقدارمسافتی که متحرك درواحدزمان می‌پیماید مشخص می‌شود . مثلا می گوییم سرعت یك اتومبیل می‌تواند به ۲۰۰ کیلومتر در ساعت برسد. یعنی اتومبیل قادر است مسافت ۲۰۰ کیلومتر را در مدت یك ساعت یا نزدیك به ۵۶ متر را در هر ثانیه بپیماید. بنابراین اگرعابرپیاده‌ای مثلا مسافت۱۸۰۰ متر را در مدت نیم ساعت (۱۸۰۰ ثانیه) بپیماید به طور متوسط درهرثانیه مسافت$\frac{۱۸۰۰}{۱۸۰۰}$ مساوی یك متر را طی کرده است. یعنی سرعت متوسط او ۱ متر بر ثانیه بوده است. به‌سهولت می‌توانیم برای این‌مثال و مشابه‌آن رابطهٔ زیررا بنویسیم:

$$\text{سرعت متوسط متحرك} = \frac{\text{مسافتی که پیموده}}{\text{زمان حرکت}}$$

یا :
$$\bar{v}=\frac{d}{t} \qquad (۳-۱)$$

(خطی که روی v قرارداده شده نمایش متوسط است)

پرسش ۳-۳ ـ اگر هواپیمایی با سرعت متوسط ۵۰۰ کیلومتر در ساعت حرکت کند در مدت ۴ ساعت چه‌مسافتی را می‌پیماید ؟

واحدهای سرعت

واحد سرعت در دستگاه بین‌المللی واحدها متر بر ثانیه (باعلامت اختصاری m/s) است وآن‌سرعت متحرکی است که به‌طور یکنواخت درهر ثانیه یك‌متر را بپیماید.

استفاده از واحدهای متعارف زیر درموردهای مختلف نیزمجاز است.

کیلومتر برساعت (km/h) برای وسایط نقلیه.

میل بر ساعت (mil/h) که آن را «گره» نیز می‌گویند درکشتیرانی وهواپیمایی.

(هرمیل بنا به‌قرارداد برابر ۱۸۵۲ متراست).

سانتیمتر بر ثانیه (cm/s) برای سرعتهای کم.

پرسش ۳-۴ـ هر کیلومتر برساعت و هرمیل برساعت چند متر بر ثانیه است ؟

کمیتهای برداری

درضمن مثالهای حرکت متوجه شدید که‌مسافت دارای مقدار و امتداد است‌که هر دو یا یکی از آنها تغییر می‌کند. این‌گونه کمیت که علاوه برمقداردارای امتداد وجهت نیزهست‌کمیت برداری نامیده می‌شوند[1].

سرعت نیزعلاوه برمقدار دارای امتداد وجهت است. مثلاوقتی که می‌گوییم هواپیمایی با سرعت ۳۰۰ کیلومتر در ساعت درحرکت است وضع آن‌را مشخص نکرده‌ایم ولی اگر بگوییم هواپیما درامتداد شمال و جنوب با سرعت ۳۰۰ کیلومتر در ساعت رو به شمال درحرکت است وضع حرکت آن را مشخص کرده‌ایم. پس‌سرعت‌هم مانند مسافت، کمیت‌برداری است (نمایش هندسی کمیت‌برداری را دربخش ۵ خواهیم دید) . مقدار سرعت‌یك متحرك را بدون درنظر گرفتن‌امتداد و جهت حرکت «سرعت» می گوییم.

مثلامی‌توانیم بگوییم‌که اتومبیل‌دارای «سرعت‌سنج»است زیرا عقربهٔ آن فقط مقدارسرعت اتومبیل را نشان‌می‌دهد. بنابراین هرگاه منظورما از سرعت‌فقط اندازهٔ آن باشد کلمهٔ سرعت را به‌کار می‌بریم واگر منظور اندازه وجهت هر دو باشدکلمهٔ تندی را به‌کار خواهیم برد.

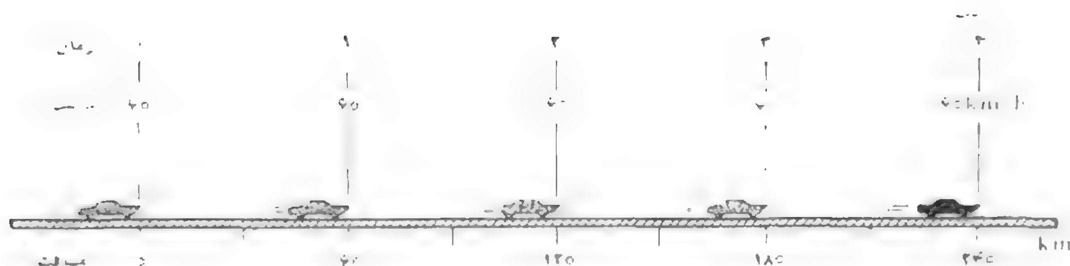
پرسش ۳-۵ ـ آیا سرعتی که در هر لحظه عقربهٔ سرعت‌شمار اتومبیل نشان می‌دهد سرعت‌متوسط است ؟

حرکت یکنواخت برروی خط راست

اتومبیلی را در نظر بگیرید که در امتداد یك جادهٔ مستقیم طوری حرکت می‌کند که سرعت وامتداد آن ثابت است. در این حال اتومبیل در زمانهای مساوی مسافتهای مساوی را می‌پیماید (شکل ۳ـ۳) . مثلا اگر عقربهٔ سرعت شمار روی عدد ۶۰ کیلومتر

---

[1] ـ کمیتهایی مانند جرم و زمان که دارای جهت وامتداد نیستند کمیت اسکالر نام دارند



شکل ۳-۳- نمایش حرکت مستقیم‌الخط و یکنواخت یک اتومبیل

قرار گرفته باشد اتومبیل در هر دقیقه مسافت یک کیلومتر را طی می‌کند. حرکت این اتومبیل را مستقیم‌الخط یکنواخت گویند.

بنابراین در حرکت مستقیم‌الخط یکنواخت، سرعت ثابت و امتداد آن با امتداد حرکت یکی است. در این نوع حرکت مسافتی که متحرک در زمان معین می‌پیماید به‌آسانی حساب می‌شود. کافی است سرعت متحرک را در مدت حرکت ضرب کنیم:

زمان × سرعت = مسافت

$$d = v \cdot t \qquad (۳-۲)$$

این رابطه را معادلهٔ حرکت مستقیم‌الخط یکنواخت گویند.

حرکت شتابدار

معمولاً نمی‌توان مسافت بزرگی را توسط اتومبیل با حرکت یکنواخت پیمود زیرا نشیب وفراز و پیچ و خم جاده سبب می‌شود که جهت ومقدار تندی تغییر کند.

حرکتی را که در آن تغییر تندی پیدا می‌شود حرکت شتابدار می‌نامند.

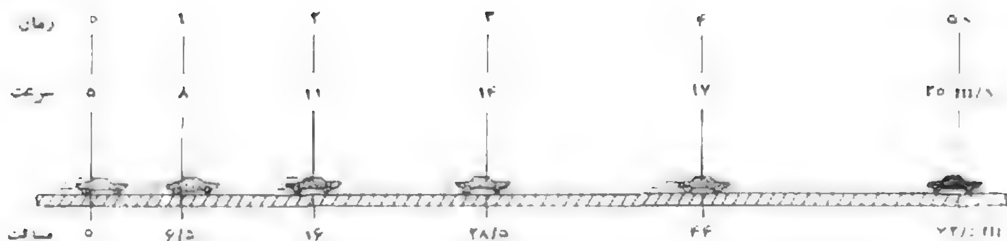
معمولاً وقتی که صحبت از حرکت شتابدار می‌شود ممکن است فقط زیاد شدن سرعت را در نظر بگیرید. مثلاً وقتی که رانندهٔ یک اتومبیل روی پدال گاز فشار می‌آورد سرعت اتومبیل افزایش می‌یابد و حرکت آن شتاب پیدا می‌کند ولی باید توجه داشته باشید که شتاب در اثر هر گونه تغییر تندی پیدا می‌شود. یعنی تندی چه از نظر مقدار کم شود یا زیاد گردد وچه تغییر جهت دهد یا جهت ومقدار آن هر دو تغییر کند در هر حال حرکت شتابدار می‌گردد. در اینجا ما فقط شتاب حاصل از کاهش یا افزایش مقدار تندی را منظور می‌داریم. به‌عبارت دیگر حرکت مستقیم‌الخط شتابدار را بررسی می‌کنیم. در این نوع حرکت، شتاب یعنی مقدار تغییر سرعت درواحد زمان. بنابراین اگر سرعت متحرکی به‌طور منظم و یکنواخت کم یا زیاد شود شتاب حرکت آن‌را می‌توانید از تقسیم مقدار تغییر سرعت برمدتی که سرعت تغییر کرده است به‌دست آورید.

$$\text{شتاب} = \frac{\text{مقدار تغییر سرعت}}{\text{مدت تغییر سرعت}}$$

یا $a = \frac{v - v_0}{t}$ (۳-۳)

در این رابطه v_0 سرعت اولیه (قبل از تغییر)، v سرعت آخری (بعد از تغییر) و t مدت این تغییر است.

فرض کنید که سرعت یک اتومبیل در مدت ۵ ثانیه به‌طور منظم از ۱۸ کیلومتر درساعت یعنی 5m/S به ۷۲ کیلومتر درساعت یعنی 20m/S می‌رسد. تغییر سرعت



شکل ۳-۴ــ نمایش حرکت یک اتومبیل با شتاب ثابت.

برحسب متر بر ثانیه برابر است با ۵ــ۲۰ یا ۱۵m/s و چون این تغییر سرعت در ۵ ثانیه صورت گرفته است شتاب حرکت اتومبیل برابر است با $\frac{15}{5}$ یا ۳$\frac{m/s}{s}$ یعنی پس از گذشت هر ثانیه بطور مرتب ۳متر بر ثانیه بهسرعت اتومبیل اضافه می‌شود به طوری که در پایان ثانیهٔ اول سرعت آن به۸=۳+۵ متر بر ثانیه، در پایان ثانیهٔ دوم به۱۱=۳+۸ متر بر ثانیه، درپایان ثانیهٔ سوم به ۱۴=۳+۱۱ متر بر ثانیه ، در پایان ثانیهٔ چهارم به۱۷=۳+۱۴متر برثانیه و در پایان ثانیهٔ پنجم به۲۰=۳+۱۷ متر برثانیه رسیده است (شکل ۳ـ۴).واحد شتاب در دستگاه واحدهای بین‌المللی، $\frac{m/s}{s}$ است که به صورت m/s^2 (متر بر مجذورثانیه) نمایش داده می‌شود.

پرسش ۳-۶- هواپیمایی که باسرعت ۶۰m/s درحرکت است باشتاب ثابت ۰٫۵m/s^2 افزایش‌سرعت می‌یابد. پس از ۱۰ ثانیه سرعتش به‌چند متر بر ثانیه می‌رسد ؟

اگر سرعت متحرک به جای افزایش بطور مرتب کاهش یابد شتاب حرکت باز هم بههمین طریق حساب می گردد ولی با علامت منفی نمایش داده می‌شود.

سرعت متحرک‌را در حرکت شتابدار منظم ، پس از گذشت زمان t می‌توانید به سهولت از رابطهٔ ۳ـ۳ حساب کنید. یعنی:

$$v - v_0 = at$$

$$v = v_0 + at \qquad (۳-۴) \qquad \text{یا}$$

پرسش ۳-۷ ـ سرعت متوسط در یک حرکت شتابدار منظم که سرعت اولی آن برابر v_0 و سرعت آخری آن پس از گذشت زمان t برابر $v = v_0 + at$ است چه اندازه است؟ آیا می‌توانید مسافتی را که این متحرک درمدت t می‌پیماید حساب کنید ؟

اهمیت حرکت مستقیم‌الخط

مطالعهٔ حرکت مستقیم‌الخط بـه دو علت مهم است. نخست آن‌که تعدادی ازحرکتهای مهم از آن جمله سقوط آزاد اجسام در مجاورت زمین در امتداد خط مستقیم یانزدیک بهخط مستقیم‌صورت می گیرد.

دوم آن‌کـه خیلی از حرکتهای نامنظم مختلط را می‌توان ترکیبی از دویا چند حرکت مستقیم‌الخط در نظر گرفت و آنها را تجربه و بررسی نمود.

حرکت سقوط آزاد اجسام درخلاء مثال خوبی ازحرکتهای شتابدار مستقیم‌الخط و منظم است. شتاب

ثابت این حرکت را به‌جای a معمولا به‌حرف g نمایش می‌دهند . مقدار g در مجاورت سطح زمین تقریباً $9/8 m/s^2$ است. یعنی به‌سرعت جسمی که در خلأ مجاور سطح زمین سقوط می کند هر ثانیه به‌طور منظم ۹/۸ متر بر ثانیه اضافه می‌شود. چون در سقوط آزاد، جسم بدون سرعت اولیه رها می‌شود (یعنی $v_0 = 0$) رابطهٔ ۳=۳ را برای این حرکت می‌توان به صورت زیر نوشت :

$$g = \frac{v - 0}{t} = \frac{v}{t}$$

بنابراین، سرعت سقوط آزاد یك جسم، پس از گذشت زمان t برابر است با :

$$v = g \cdot t$$

یا

$$v_{(\frac{m}{s})} = 9/8\ t_{(s)}$$

بدیهی است سرعت متوسط در این حرکت ، میانگین سرعت اولی (یعنی سرعت در لحظهٔ شروع حرکت) وسرعت آخری (سرعت پس از گذشت زمان t) است . یعنی:

$$\bar{v} = \frac{0 + v}{2} = \frac{0 + gt}{2} = \frac{gt}{2}$$

ومسافت طی شده برابر است با سرعت متوسط ضرب‌در زمان حرکت . یعنی :

$$d = \bar{v} \cdot t \implies d = \frac{gt}{2} \times t = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

یا

$$d_{(m)} = 4/9 t^2_{(s)}$$

مثلا مسافتی که یك جسم در سقوط آزاد پس از یك ثانیه می‌پیماید برابر است با:

$$d_1 = 4/9 \times 1^2 \quad 4/9 m$$

پس ازدو ثانیه $d_2 = 4/9 \times 2^2 = 19/6 m$

پس ازسه ثانیه $d_3 = 4/9 \times 3^2 = 44/1 m$

تا آخر.

سرعت (متر بر ثانیه)	مسافت (متر)	زمان (ثانیه)
۰	۰	۰
۹/۸	۴/۹	۱
۱۹/۶	۱۹/۶	۲
۲۹/۴	۴۴/۱	۳
۳۹/۲	۷۸/۴	۴

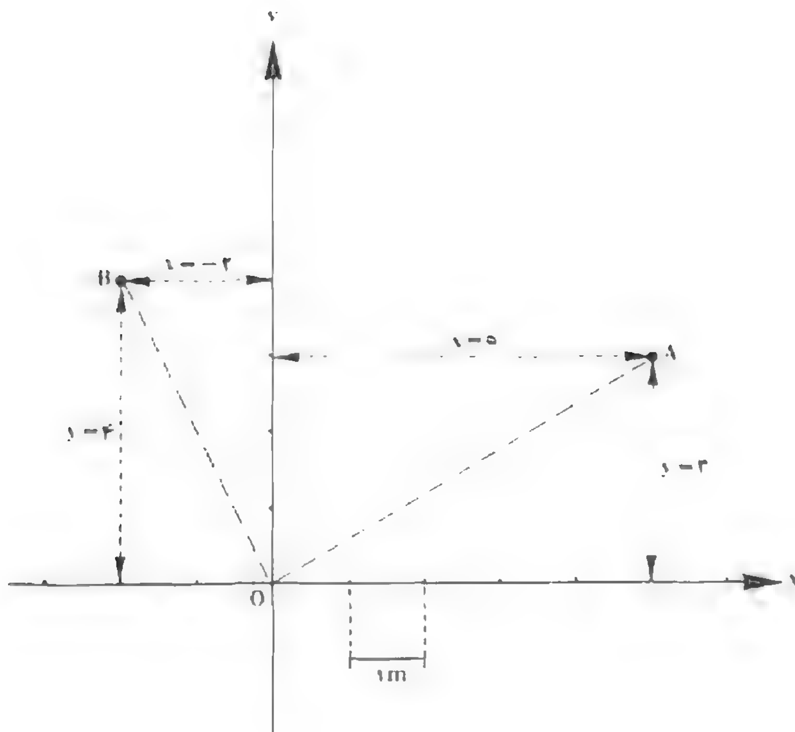
شکل ۳-۵- تجسم ساده‌ای ازحرکت سقوطی یك جسم درخلأ

شکل (۳ - ۵) تجسم ساده‌ای از حرکت سقوط آزاد یك جسم در خلأ است. در این شکل فاصلهٔ هر دوخط موازی نمایش ۴/۹ متر است.

نمایش حرکت به وسیلهٔ نمودار

الف - در مطالعهٔ حرکت بر روی خط راست دانستید که می‌توانید درهر لحظه فاصلهٔ متحرك را ازمبدأ مقایسه معین کنید. اینك درنظر بگیرید که می‌خواهید جای یك جسم را روی یك سطح مشخص نمایید . برای این منظورمی‌توانید فاصلهٔ جسم را از دو محور عمود بر هم مانند ox و oy که روی این سطح به دلخواه انتخاب کرده‌اید تعیین کنید (شکل ۳-۶) .

نقطهٔ o را که محل تلاقی این دوخط است نیز می‌توانید مبدأ بگیرید.



شکل ۳-۶- طرز تعیین مکان یك نقطه روی یك سطح

اگر فاصله‌ها را با مقیاس کوچکتری روی کاغذ شطرنجی یا میلیمتری نمایش دهید نقشه‌ای با مقیاس کوچکتر از آنچه در واقع وجود دارد به دست خواهید آورد.

در اینجا می‌توانید بنا به قرارداد، فاصله‌های روی محور ox را از مبدأ o به طرف راست، مثبت و از o به طرف چپ منفی بگیرید، همچنین روی محور oy از o به بالا رامثبت و از o بپایین‌را منفی‌انتخاب کنید. مثلاً در شکل ۳-۶ وضع نقطهٔ A با فاصله‌های $x = ۵m$ و $y = ۳m$، وضع نقطهٔ B با فاصله‌های $x = -۲m$ و $y = ۴m$ نسبت به دومحور مشخص می‌گردد.

پرسش ۳-۸- فاصلهٔ دونقطهٔ A و B را باروشی غیر از اندازه‌گیری با خط‌کش مدرج حساب کنید.

اگر چهارجهت اصلی مشرق ومغرب و شمال وجنوب را درنظر بگیرید می‌توانید بگوییدکه A درفاصله‌های ۵سانتیمتری مشرق نقطهٔ o و ۳ سانتیمتری شمال آن قرار گرفته و B در فاصله‌های ۲سانتیمتری‌مغرب‌نقطهٔ o و ۴ سانتیمتری شمال آن واقع شده است.

بنابراین برای تعیین جای یك نقطه در روی یك صفحه دو عدد لازم است.

پرسش ۳-۹- روش متداول برای تعیین جای نقاط در سطح زمین چیست؟ این عددها برحسب چه کمیتی مشخص می‌شوند؟

پرسش ۳-۱۰- جای یك‌نقطه‌در فضا- مثلاً درفضای درون اتاق- با چند عدد وچگونه مشخص می گردد؟

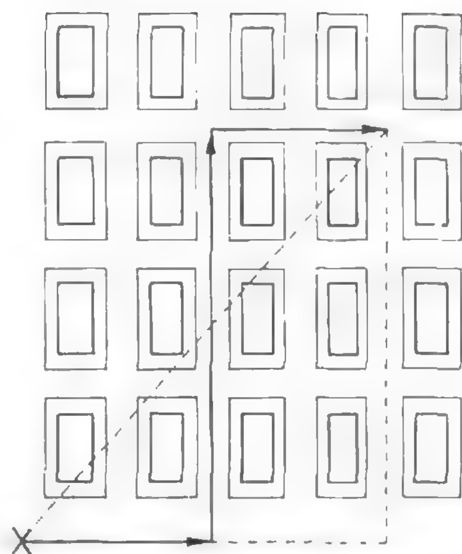
ساختمانهایی را که به طرف مشرق پیموده است $(+x)$ جداگانه و تعداد ساختمانهایی را که به طرف شمال پیموده است $(+y)$ نیز جداگانه با هم جمع کنید و وتر مثلث قائم‌الزاویه‌ای را که بدین ترتیب تشکیل می‌گردد حساب نمایید.

پرسش ۳-۱۱ ـ اگر هر ساختمان را واحد مسافت بگیریم این فاصلهٔ مستقیم برابر چند ساختمان می‌شود؟

ج ـ دیدیم وقتی که جسمی روی یك خط راست حرکت می‌کند فاصلهٔ آن با گذشت زمان ازمبدأ مقایسه تغییر می‌نماید. به عبارت دیگر مسافتی که یك متحرك می‌پیماید تابع زمان است. اینك می‌خواهیم قالبی برای نشان دادن تغییرات مسافت نسبت به زمان به‌کار بریم که نمودار[1] نامیده می‌شود.

به عنوان یك مثال ساده، در نظر بگیرید که متحرکی روی یك خط راست حرکت می‌کند و در فاصلهٔ ۲ متری مبدأ متوقف می‌شود ـ مانند باری که توسط یك ماشین ازسطح زمین بلند شده و در ارتفاع دومتری سطح زمین نگه‌داشته شده باشد. قالب ریاضی این مطلب به صورت $d = ۲m$ نمایش‌داده می‌شود و شکل ۳ـ۸ نمودار آن است. این نمودارنشان می‌دهد که مقدار d (یعنی‌فاصلهٔ متحرك ازمبدأ مقایسه) با گذشت زمان تغییر نمی‌کند.

اینك متحرکی درنظربگیریدکه مثلا با سرعت ثابت۲ متر بر ثانیه روی خط راستی حرکت می‌کند. معادلهٔ حرکت این متحرك طبق رابطهٔ ۳ـ۲ به‌صورت $d = ۲\,t$ است.

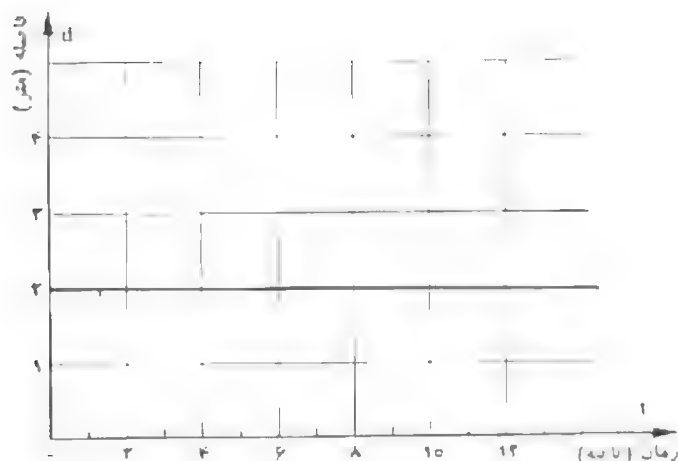


شکل ۳-۷ـ بین مسافت طی شده و فاصلهٔ مستقیم متحرك از مبدأ اختلاف وجود دارد.

ب ـ با روشی که در بالا بیان شد می‌توانیم هنگامی که متحرکی در امتدادهای مختلف حرکت می‌کند مکان آن را هر لحظه نسبت به مبدأ تعیین نماییم. در شکل ۳ـ۷، مسیر یك حرکت را نشان داده‌ایم که متحرك از مبدأ حرکت، دو ساختمان (بلوك) به سمت مشرق، سه ساختمان به طرف شمال و دو ساختمان دوباره به سمت مشرق رفته است. مسافتی که این متحرك پیموده است درواقع هفت ساختمان است واگر از شما پرسیده شود که از مبدأ چقدر دور شده است جواب واقعی وکاملی که معمولا می‌دهید همین است. به اندازهٔ هفت ساختمان! ولی فاصلهٔ مستقیم متحرك از مبدأ حرکت به این‌طریق به دست می‌آید که تعداد

---

[1]- Graph



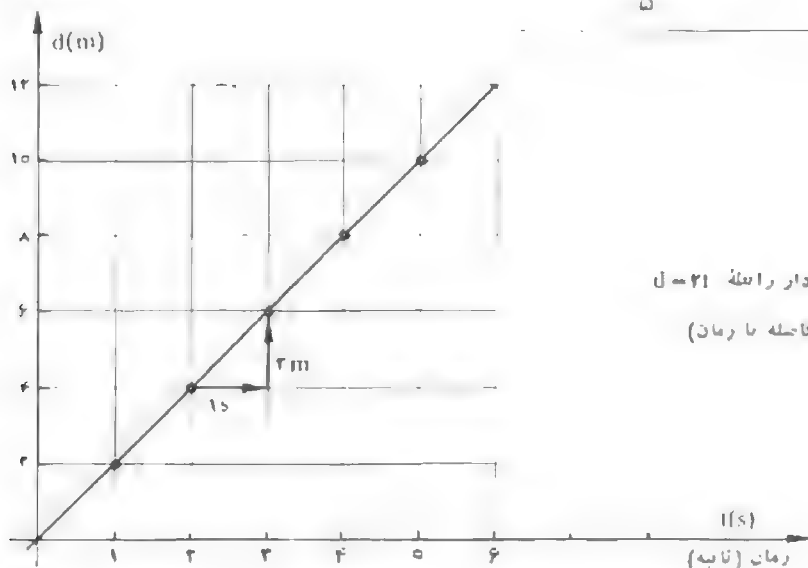
شکل ۳-۸- نمودار d=2m

چگونگی تغییرات فاصلهٔ d با زمان t درجدول زیر و نمودار شکل ۳-۹ نمایش داده شده است:

فاصله برحسب متر (y)	زمان برحسب ثانیه (x)
۰	۰
۲	۱
۴	۲
۶	۳
۸	۴
۱۰	۵

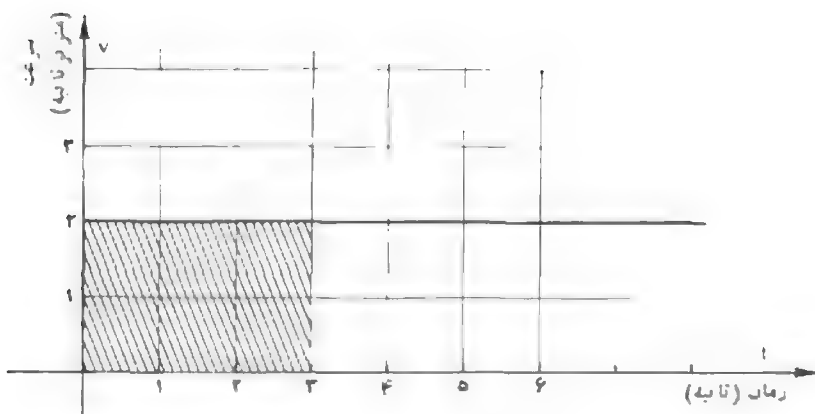
در همین‌مثال چنانچه بخواهید تغییرات سرعت را با زمان نمایش دهید نمودار شکل ۳-۱۰ به دست می‌آید. این نمودار نشان می‌دهد که سرعت همواره ثابت است و با گذشت زمان تغییر نمی‌کند.

پرسش ۳-۱۲- درشکل ۳-۱۰ مساحت مستطیلی که هاشور خورده است چه کمیتی را نشان می‌دهد؟



شکل ۳-۹- نمودار رابطهٔ d=2t

(تغییرات فاصله با زمان)



شکل ۳-۱۵- نمودار سرعت ثابت v = ۲ m/s

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) دو اتوبوس درجاده‌ای هردو رو به شمال درحرکتند. سرعت اتوبوس جلوی ۶۰ کیلومتر درساعت وسرعت اتوبوس عقبی ۵۰ کیلو متر درساعت است.

الف ــ سرعت نسبی و جهت حرکت اتوبوس جلوی نسبت به مسافری که در اتوبوس عقبی نشسته است چیست؟

ب ــ سرعت نسبی و جهت حرکت اتوبوس عقبی نسبت به مسافری که در اتوبوس جلوی نشسته است چیست؟

۲) چه فرقی بین سرعت لحظه‌ای یك اتومبیل (یعنی سرعتی که در هرلحظه عقربهٔ سرعت‌شمار اتومبیل نشان می‌دهد) و سرعت متوسط آن است؟

۳) اتومبیلی با سرعت ۲۰ متر برثانیه درحرکت است. چه مسافتهایی این اتومبیل پس از ۱ ثانیه و ۲ ثانیه و ۳ ثانیه می‌پیماید؟

۴) کدام یك از مثالهای زیر حرکت شتابدار است.

الف ــ ترنی که روی ریلهای مستقیم با سرعت ثابت حرکت می‌کند؟

ب ــ ترنی که روی ریلهای قوسی شکل با سرعت ثابت حرکت می‌کند؟

ج ــ ترنی که روی ریلهای مستقیم با سرعت متغیرحرکت می‌کند؟

۵) درچه صورت شتاب حرکت یك اتومبیل منفی است؟

۶) در چه صورت شتاب حرکت یك اتومبیل صفر است؟

۷) در چه موقع با آن‌که سرعت یک اتومبیل ثابت است حرکت آن شتابدار است؟

۸) نشان دهید که وقتی یک جسم ازحال سکون با شتاب ثابت به حرکت در می‌آید، سرعت متوسط آن نصف سرعت آخری است.

۹) الکترونها با سرعت ثابت طول لامپ تصویر تلویزیون راکه ۰/۲۵ متر است درمدت $۱۰^{-۵} \times ۱$ ثانیه می‌پیمایند. سرعت این الکترونها چند متر بر ثانیه است؟

۱۰) سرعت سیر نور در خلاء تقریباً $۳ \times ۱۰^{۵} km/s$ است. چه مدت لازم است تا نور فاصلهٔ بین زمین و خورشید را که تقریباً ۱۵×۱۰^{۷} کیلومتر است بپیماید؟

۱۱) مسافت طی شده توسط یک اتومبیل درمدت ۱۰ ثانیه طبق جدول زیر افزایش یافته است:

زمان (ثانیه)	فاصلهٔ پیموده شده (متر)
۰	۰
۲	۳۵
۴	۷۰
۶	۱۰۵
۸	۱۴۰
۱۰	۱۷۵

الف ــ نمودار این حرکت را روی کاغذ شطرنجی یا میلیمتری رسم کنید.

ب ــ سرعت این حرکت را تعیین کنید.

ج ــ از روی نمودار معین کنید اتومبیل چه مسافتی را پس‌از ۵/۵ ثانیه پیموده است.

۱۲) درسقوط آزاد یک جسم در خلاء مسافتهای پیموده شده در چهار ثانیهٔ اول حرکت در جدول زیر نمایش داده می‌شود:

زمان (ثانیه)	مسافت طی شده (متر)
۰	۰
۱	۴/۹
۲	۱۹/۶
۳	۴۴/۱
۴	۷۸/۴

نمودار این حرکت را روی کاغذ شطرنجی یا میلیمتری بدقت نمایش دهید.
روی محور نمایش مسافتها مقیاس طول را طوری بگیرید که بتوانید این اعداد را بگنجانید

این مسئله‌ها را حل کنید

۱) یك اتومبیل ازحال سکون به حرکت درمی‌آید، پس از ۸ ثانیه سرعتش به ۲۰ متر بر ثانیه می‌رسد
اگر شتاب حرکت اتومبیل دراین مدت ثابت فرض شود:

الف ــ اندازه این شتاب چیست ؟

ب ــ چه مسافتی اتومبیل دراین مدت می‌پیماید؟

۲)اتومبیلی که با سرعت ۱۲m/s درحرکت است درمدت ۳ ثانیه شتابی معادل $۲ \frac{m}{s^۲}$ می‌گیرد.

الف ــ چه سرعتی پس از این مدت پیدا می‌کند ؟

ب ــ سرعت متوسط آن دراین سه ثانیه چه‌اندازه‌است؟

ج ــ چه مسافتی در این مدت می‌پیماید ؟

۳) شخصی سنگی راازلبه یك پل که برروی رودخانه‌ای بسته شده است بدون سرعت اولیه رها می‌کند وسنگ پس از ۱/۸ ثانیه به سطح آب رودخانه برخوردمی‌کند. ارتفاع پل را حساب کنید .

۴)یك اکروبات می‌تواند بدون این که آسیب ببیند با سرعت ۱۲m/s بروی سطح زمین فرودآید .
بیشترین ارتفاعی که این اکروبات می‌تواند از آن به پائین بپرد چه اندازه است؟

۵) پروتونها (هسته اتم هیدروژن) دریك نوع دستگاه شتاب دهنده در مدت ۲×۱۰^{-۷} ثانیه ازحال سکون به سرعتی معادل ۰/۱ سرعت نور می‌رسند . شتاب متوسط آنها را دراین مدت حساب کنید .

پاسخ به پرسشهای متن

۳ــ۱) ۱۲۰ کیلومتر درساعت.

۳ــ۲) فاصلهٔ متحرك از مرکز دایره همواره ثابت می‌ماند ولی امتداد آن مرتباً تغییر می‌کند.

۳-۳) $d = ۵۰۰_{(km/h)} \times ۴_{(h)} = ۲۰۰۰ km$

۳-۴) $۱ km/h = \frac{۱۰۰۰}{۳۶۰۰} m/s$ و $۱ mil/h = \frac{۱۸۵۲}{۳۶۰۰} m/s$

۳-۵) نه . ایـن سرعت برحسب شرایط جـاده مرتباً تغییر می‌کند. این سرعت را سرعت لحظه‌ای می‌گویند

۳-۶) $v = ۶۰ + ۰/۵ \times ۱۰ = ۶۵ \ m/s$

۳-۷) ۱) سرعت متوسط $\bar{v} = \frac{v_0 + v_0 + at}{۲} = v_0 + \frac{۱}{۲}at$

۲) مسافت طی شده $d = \bar{v}t = (v_0 + \frac{۱}{۲}at)t = v_0 t + \frac{۱}{۲}at^۲$

۳-۸) AB وتر مثلث قائم‌الزاویه‌ای است که دوضلع مجاور به‌زاویه قائمهٔ آن به‌ترتیب

$۵ + ۲ = ۷m$ و $۴ - ۳ = ۱m$ است و داریم:

$AB^۲ = ۷^۲ + ۱^۲ = ۴۹ + ۱ = ۵۰$

$AB = \sqrt{۵۰} = \sqrt{۲ \times ۲۵} = ۵\sqrt{۲} \simeq ۷/۰۷ m$ و

۳-۹) روش متداول عبارت است از تعیین طول وعرض جغرافیایی نقاط مورد نظر نسبت به نصف‌النهار گرینویچ و خط استوا. این کمیتها برحسب درجه مشخص می‌شوند.

مثلاً طول و عرض جغرافیایی تهران به‌ترتیب برابر است با

طول ″۳۰ و ′۲۳ و °۵۱ شرقی

عرض ″۶ و ′۴۱ و °۳۵ شمالی

علاوه براین دوکمیت ارتفاع هر نقطه از سطح تراز دریا نیز مشخص می‌شود .

۳-۱۰) به‌کمك سه فاصلهٔ عمود برهم از دیوارها و کف اتاق .

۳-۱۱) فاصلهٔ مستقیم $= \sqrt{۴^۲ + ۳^۲} = ۵$

۳-۱۲) این مساحت برابر حاصلضرب سرعت × زمان یعنی مسافت طی شده توسط متحرك است.

۴

نیرو و ساختمان ماده

نیرو و تعادل

در سالهای پیش با کلمهٔ «نیرو» آشنا شده‌اید. وقتی که جسمی را می‌کشید یا می‌رانید بر آن نیرو وارد می‌سازید. اینك این پرسش را مطرح می‌کنیم:

اگر برجسمی نیرو وارد نشود چه خواهد شد؟

به چنین حالتی مشکل است برسیم ولی می‌توانیم گلوله‌ای در نظر بگیریم که روی یك سطح افقی قرار گرفته است. اگر گلوله درجای خود ساکن باشد بر آن هیچ نیروی افقی وارد نمی‌شود. اما فرض کنیم که گلوله در حرکت است. اگر بر آن نیرویی وارد نشود سرعت حرکتش تغییر نمی‌کند. بنابراین وقتی که برجسمی نیرو وارد نمی‌شود اگر در حال سکون است همواره ساکن می‌ماند و اگر درحال حرکت است در راستای خط مستقیم باتندی ثابت حرکت می‌کند و برای این که تندیش زیاد شود یا کم گردد یا تغییر جهت دهد باید به آن نیرو وارد شود. این بیان‌را قانون اول نیوتن درحرکت گویند.

برای تغییر تندی یك جسم کافی است بر آن نیرو وارد کنیم ولی لازم نیست که هر نیرویی سبب تغییر تندی شود. شکل ۴-۱ دو پسر را نشان می‌دهد که دوطرف یك حلقهٔ لاستیك شنا را گرفته و می‌کشند. هریك از آن دو تلاش می‌کند که حلقه را بەسوی خود بکشد. اگر هر دو بەیك اندازه نیرو برحلقه وارد سازند حلقه بی‌حرکت می‌ماند. دراین صورت می‌گوییم برآیند نیروها صفر است.

اگر یکی‌ازدوپسرحلقه‌را بیشتر ازدیگری بکشد برآیند دونیرو دیگرصفر نیست و حلقه به‌طرف نیروی بزرگتر کشیده می‌شود. قانون اول نیوتن را در این مثال نیز می‌توان به‌کار برد. تا وقتی که برآیند نیروهای وارد برجسمی صفر است تندی جسم تغییر نمی‌کند هرچند بر آن نیروهایی اثر کنند. در این صورت می‌گوییم جسم درحال تعادل است.

این‌موضوع دلیل بر آن نیست‌که نیروها اثری بر روی شکل حلقه ندارند. حلقهٔ لاستیکی که از دو طرف مرکزش در دوسوی مخالف کشیده می‌شود دراز می‌گردد. به طورکلی نیروهایی‌که بر روی یك جسم درحالت تعادل اثرمی‌کنند شکل‌جسم را تغییرمی‌دهند



شکل ۴-۱- دو نیروی متقابل وارد بر یك جسم

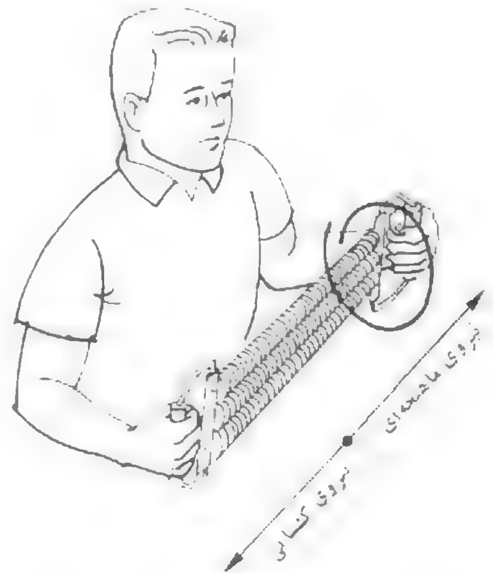
ولی در بیشتر موردها تغییر شکل محسوس نیست. هر گاه به تیر چراغ تکیه دهید بر آن نیرو وارد می‌سازید ولی تیر از جای خود حرکت نمی‌کند زیرا در زمین محکم شده است، و زمین نیرویی درخلاف جهت وارد می‌سازد. ولی نیروی شما سبب تغییر شکلی خیلی جزئی در تیر می‌شود که با چشم محسوس نیست واسبابهایی ساخته شده است که این تغییر شکل را به‌خوبی آشکار می‌سازد.

اقسام نیرو

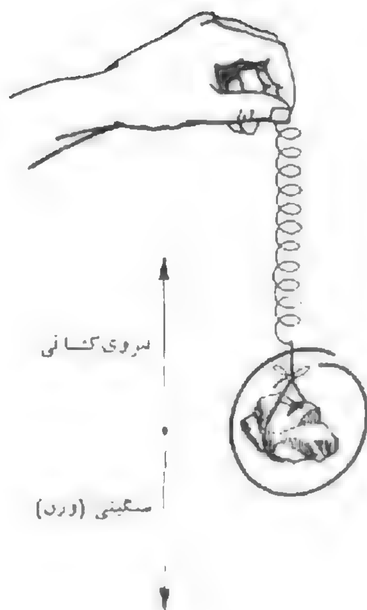
اینک در نظر بگیرید که شما می‌خواهید ماهیچه‌های بازوی خود را ورزش دهید. این کار را با اسباب مخصوص فنری شروع می‌کنید که در شکل ۴ـ۲ نشان داده شده است. دسته‌های اسباب را می‌گیرید و دو طرف درخلاف جهت یکدیگر می‌کشید. دست نیروی بزرگی به دسته وارد می‌سازد ولی فنر نیز نیرویی درخلاف جهت نیروی دست اعمال می‌کند که می‌خواهد آن را به حال اول خود برگرداند وهنگامی که نیروی برگرداننده فنر با نیروی دست برابر شد اسباب به‌حال تعادل می‌ماند.

جامدات به طورکلی درمقابل تغییرشکل مقاومت می‌کنند و می‌خواهند به شکلی که پیش از وارد شدن نیرو داشتند برگردند. این گونه نیروهای برگرداننده مقاوم را نیروی کشسانی (الاستیک) گویند. نیروی کشسانی اغلب در نظر اول ظاهر نمی‌شود: اگر به دیوار آجری تکیه کنید دیوار در مقابل نیروی شما مقاومت می‌کند و شما به حال تعادل می‌مانید.

دیوار به‌این علت نیرو وارد می‌سازد که درمقابل نیروی فشار شما در آن تغییر شکل حاصل می‌شود. هر چه شما بیشتر دیوار را برانید تغییرشکل درآن بیشتر و نیروی برگرداننده کشسانی آن بزرگتر می‌گردد برای دیوار یك نیروی حدکشسانی وجود دارد و یك بولدوزر می‌تواند بیش ازآن را بر دیوار وارد سازد. نیروی کشسانی را می‌توانیم برای شناسایی نیروهای دیگر به‌کار بریم. اگر سنگی را مطابق شکل ۴ـ۳ به انتهای فنری بیاویزیم فنرقدری کشیده می‌شود وسنگ به حال تعادل می‌ایستد و تا وقتی که فنر کشیده می‌شود ، نیروی کشسانی رو به بالا وارد می‌آورد . هر جسمی که به فنری آویزان شود آن را به طرف پایین می‌کشد. تمام اجسامی که به این ترتیب آزمایش می‌شوند به طرف زمین کشیده می‌شوند. اکنون می‌دانید نیرویی که آنها را به طرف زمین می‌کشد نیروی جاذبهٔ زمین نامیده می‌شود. برای هرجسم اندازه این نیروی جاذبه را سنگینی یا وزن آن جسم گویند. اگر جسمی



شکل ۴ـ۲ـ دو نیرو که مساوی و درخلاف جهت یکدیگرند



شکل ۴-۳- نیروی کشانی فنر برابر نیروی جاذبهٔ وارد بر وزنه است

را روی میز قرار دهیم درست نظیر همین وضع را خواهیم داشت. وزن آن برمیز به طرف پایین تحمیل می‌شود و میز تغییرشکل می‌یابد. نیروی کشانی میز سنگ‌رابه‌طرف بالا می‌راند وهنگامی که این نیرو با وزن‌سنگ برابرشود تعادل برقرارمی گردد. اگرجسم سبکی هم مانند پرروی تیرفولادی قرار گیرد وزن‌آن بدین علت توسط تیر تحمل می‌شود که سبب تغییرشکل درآن می گردد.

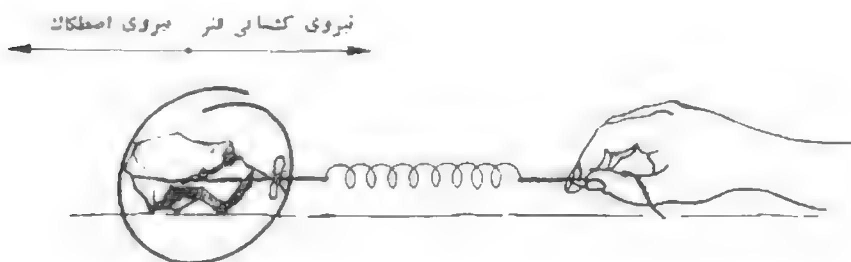
پرسش ۴-۱- اسبابی‌را نام ببرید که هم، وزن شما را تحمل کندو هم اندازهٔ نیروی‌کشانی را نشان دهد.

چنانچه سنگ را که به فنر بسته است روی سطح میز یا کف اتاق بگذاریم وآن را با سرعت ثابت بکشیم باز هم فنر کشیده می‌شود (شکل ۴-۴)، اما سنگ ضمن حرکت درحال تعادل است، زیرا سرعتش تغییر نمی کند، بنابراین نیرویی درخلاف جهت حرکت سنگ وجود دارد که مانع حرکت آن می‌شود و با نیروی‌کشانی فنربرابر است.

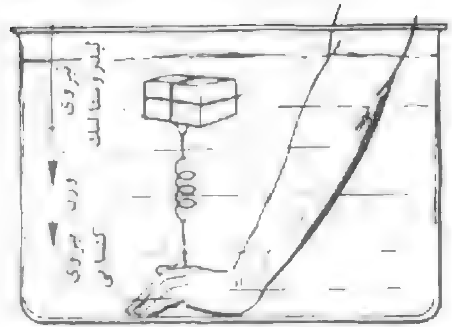
این نیرو وزن سنگ نیست زیرا وزن درامتداد شاقولی رو به پایین اثر می کند ولی این نیرو افقی است و نیروی اصطکاک نامیده می‌شود.

نیروی اصطکاک هنگامی آشکار می‌شود که یك جسم برروی جسم دیگرحرکت کند.

اینك به‌جای سنگ یك قطعه چوب به‌انتهای‌فنر می‌بندیم و دستگاه چوب و فنررا درآب فرو می‌بریم چوب می‌خواهد به روی آب بیاید ولی نیروی کشانی فنر مانع می‌شود و چوب به‌حال تعادل می‌ایستد (شکل ۴-۵) . علت این است که آب بر چوب



شکل ۴-۴- نیروی‌کشانی فنر برابر ومخالف جهت نیروی اصطکاك بین وزنه و سطح است.



شکل ۴-۵- نیروی هیدروستاتیك

نیرو وارد می‌کند. نیروی آب بر تمام رویه‌های چوب وارد می‌شود ولی نیرویی که بر رویهٔ پایینی به‌طرف بالا وارد می‌شود بیشتر از نیرویی است که بر رویهٔ بالایی به‌طرف پایین وارد می‌گردد. این نیرو که از طرف همهٔ مایعات بر روی سطحهای اجسامی که درون آنها قرار دارند وارد می‌شود نیروی هیدرواستاتیك نامیده می‌شود. شما این نیرو را روی پردهٔ گوش خود وقتی که به عمق آب فرو می‌روید حس می‌کنید.

در اینجا باید از دو نیروی دیگر نام ببریم که دربارهٔ آنها درجای خود بیشتر بحث می‌شود. این دو نیرو عبارتند از نیروی مغناطیسی و نیروی الکتریکی. یعنی نیرویی که یك آهن‌ربا بریك قطعه آهن وارد می‌سازد و آنرا می‌رباید یا نیرویی که یك شانه وقتی که با پارچهٔ پشمی مالش داده شود خرده‌های کاغذرا می‌رباید.

نیروهای بین مولکولی

اگر در شناخت نیروهایی چون نیروی کشسانی، نیروی اصطکاك و نیروهای هیدروستاتیك بیشتر کنجکاوی و بررسی کنیم اطلاعات زیادتری دربارهٔ ساختمان ماده ودربارهٔ پدیده‌هایی که بین مولکولهای مواد رخ می‌دهد خواهیم یافت. مولکولها معمولا آن قدر کوچکند که با قویترین میکروسکوپهای الکترونی هم دیده نمی‌شوند، اما می‌دانید که وجود دارند. درسالهای بعد خواهید آموخت که پدیده‌های بسیار بر پایهٔ ساختمان مولکولی اجسام بررسی می‌شوند. مطالعهٔ نیروی بین مواد روشن می‌سازد که مولکولها به هم نیرو وارد می‌سازند.

یکی از دلایل وجود این نیرو مقاومتی است که مواد جامد به هنگام تغییر حجم، هر چند به مقدار کم، ازخود نشان می‌دهند. مثلا می‌دانیم که یك میله فلزی در مقابل کشش یا تراکم مقاومت می‌کند. مایعات نیز درمقابل تراکم مقاومت می‌نمایند. وجود سه حالت متداول ماده، یعنی جامد و مایع وگاز نیز دلیل بر وجود نیروهای بین مولکولی است. در جامدات ومایعات نیروهای جاذبه میان مولکولهاچندان زیاد است که آنها حجم خود را حفظ می‌کنند، علاوه براین جامدات شکل خود را نیز حفظ می‌نمایند. ولی در گازها نیروهای جاذبه بین مولکولی کم است ودر نتیجه مولکولهای آنها آزادانه به هرطرف حرکت می‌کنند. به یادداشته باشید که نیروهای بین‌مولکولی فقط در فاصله‌های خیلی کوتاه (کمتر از میلیونیم میلیمتر) اثر می‌کنند.

در دما و فشار معین و ثابت، حجم ویژه (یعنی حجم واحد جرم) یك جسم خالص همواره مقدار ثابت و معینی است و مولکولها در فواصل معین از یکدیگر قرار دارند. اگر مولکولها از این فاصله به هم نزدیکتر شوند نیروهای بین مولکولی دافعه می‌گردند واگر مولکولها از هم دورتر شوندنیروهای بین آنها به صورت جاذبه ظاهر می‌شوند. نیروهای جاذبه بین دوپاره ازیك جسم نیزظاهر نمی‌شوندمگر در فاصله بسیار کم.

نیروهای پیوستگی

می‌دانید نیروی جاذبه‌ای که بین مولکولهای یك ماده خالص وجود دارد نیروی پیوستگی نامیده می‌شود. این نیرو بین دوپاره ازیك جسم که به هم بسیار نزدیك باشد نیز ظاهر می‌شود. برای توضیح بیشتر به مثالهای زیر توجه‌کنید:

مثال ۱- اگر قطره مایعی را که مثلا به نوك یك قطره چکان است به سطح آزاد مقداری ازهمان مایع که درظرفی ریخته شده به‌آهستگی نزدیك کنیم وقتی فاصله آنها ازسطح مایع کمتر از ۰/۰۱ میلیمتر بشود قطره به سرعت جذب مایع شده باآن یکی می‌شود.

مثال ۲- اگر دو صفحه کاملا صیقلی فلزی یا شیشه‌ای راکه خوب تمیزشده‌اند روی هم قرار دهیم تا به خوبی تماس حاصل کنند برای جدا کردن آنها از یکدیگر تلاش زیاد لازم است.

نیروهای چسبندگی

اگر نیروی جاذبه بین مولکولهای مواد مختلف و نامشابهی مانندکاغذ، خمیر وامثال آنها درنظرگرفته شودآن را نیروی چسبندگی می‌نامند. نیروی‌چسبندگی سبب می‌شود که مولکولهای یك ماده به مولکولهای مواد مختلف دیگر بچسبند. این نیروها دراصطکاك، چسباندن قطعات اجسام، نوشتن بـا قلم مداد روی کاغذ و با گچ روی تخته سیاه، بند شدن یك قطره آب به سر یك میله شیشه‌ای یا به نوك قطره چکان و جز اینها دخالت دارند.

اندازه‌گیری نیرو

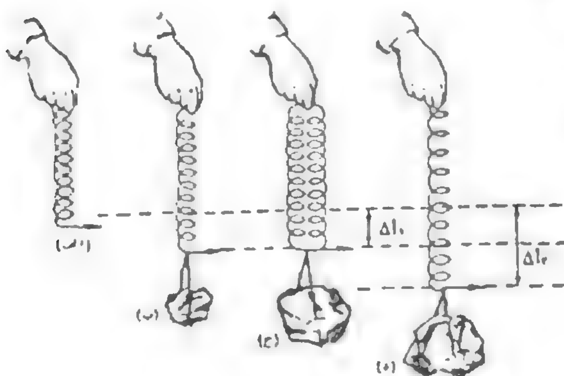
می‌خواهیم وسیله‌ای فراهم‌کنیم تا مفهوم‌اندازهٔ نیرو را بهما بشناساند و دراین مرحله روشی رابرای اندازه‌گیری نیرو انتخاب کنیم.

فنری‌را به‌طوری‌که در شکل ۴-۶-الف نمایش داده شده‌است درراستای شاقولی می‌آویزیم وعقربه‌ای به ته آن نصب می‌کنیم تا وضعیت پایین فنر را معین کند. هرگاه وزنه‌ای به ته‌آن‌بیاویزیم (شکل۴-۷-ب) فنر کشیده‌می‌شود و تغییر شکل می‌دهد. این تغییر شکل به‌طوری‌که دیدیم سبب می‌شود که فنر نیرویی رو به بالا بر وزنه وارد سازد.

اینك فنر دیگری درست مانند فنر اول انتخاب می‌کنیم و دو فنر را پهلوی هم می‌آویزیم.

پرسش ۴-۲ -چگونه می‌توانیم مطمئن شویم که فنر دوم درست مانند فنر اول است؟

سپس وزنهٔ دیگری به‌انتهای هردو فنر که‌آنها را به هم‌بسته‌ایم می‌آویزیم به‌طوری که افزایش طول دوفنر باهم‌به‌اندازهٔ طول فنراول بشود (شکل۴-۷-ج). در این‌صورت دو فنر باهم باید دوبرابر نیروی فنر را به تنهایی تحمل کنند. سنگینی این وزنه دو برابر سنگینی وزنهٔ اولی است وهریك از فنرها درست همان نیروی یك فنر را در آزمـایش اول تحمل می‌کند بدین ترتیب نیرو را کمیتی می‌یابیم که دو مقـدار



شکل ۴-۶- فنر برای اندازه‌گیری نیروها مدرج می‌شود

آن باهم جمع می‌شود.

در مرحلهٔ بعد وزنهٔ دومی را به یک فنر آویزان کرده وافزایش طول این فنر رامعین می‌کنیم. می‌بینیم کشش فنر دو برابر موقعی است که با وزنهٔ اول حاصل شده بود (شکل۴ـ۷ـد). به عبارت دیگر وقتی نیروی کشش فنر دو برابر شود، افزایش طول آن نیز دوبرابر می‌شود. به‌نظر می‌رسد که افزایش طول فنر متناسب با نیرویی است که آن‌را می‌کشد.

پرسش ۴ـ۳ ـ چگونه می‌توان پی‌برد که این تناسب حقیقت دارد؟

بنابراین اگر نیرویی که فنر اعمال می‌کند متناسب با میزان کشیدگی‌آن باشد می‌توان معادله‌ای نوشت‌که به‌کمک آن با اندازه‌گیری میزان افزایش طول فنر نیروی وارد بر آن حساب شود.

یعنی:

$$F = k \, \Delta l \quad (۴ـ۱)$$

نیرو — افزایش‌طول فنر

k مقدارثابتی است‌که از ویژگیهای ساختمانی فنر است و ثابت فنر نامیده می‌شود. هرچه فنرقویتر باشد ثابت فنر بزرگتر است، یعنی درصورتی که فنر محکم و قوی باشد نیرویی بزرگ سبب افزایش طول کوچکی در آن می‌گردد.

پرسش ۴ـ۴ ـ حدود کاربرد معادلهٔ ۴ـ۱ چیست؟

اکنون ما به مرحله‌ای رسیده‌ایم که اسبابی برای اندازه‌گیری نیرو بسازیم: فنر را در غلافی قرارمی‌دهیم و عقربه را آزاد می‌گذاریم تا مقابل‌یک صفحه حرکت کند و صفحه را به قسمتهای مساوی درجه‌بندی می‌نماییم. بدین ترتیب یک نیروسنج خواهیم داشت که اندازهٔ نیرویی را که فنر اعمال می‌کند نشان می‌دهد. نیروسنجی را که بدین ترتیب ساخته‌ایم اگر فقط آن را در آزمایشگاه فیزیک خودمان به کار می‌بردیم فاصله‌های بین درجه‌ها را هرچه انتخاب می‌کردیم اهمیتی نداشت ولی اگر بخواهیم نتیجه‌های اندازه‌گیری ما با آنچه دیگران درجاهای دیگر با نیروسنجهای خود به‌دست می‌آورند هماهنگی داشته باشد باید نیروسنج خود را بانظارت ادارهٔ بین‌المللی استانداردها براساس واحد بین‌المللی نیرو درجه‌بندی کنیم.

واحد بین‌المللی‌نیرو نیوتن (باعلامت‌اختصاری N) نام دارد. تعریف نیوتن را بر اساس حرکت خواهید شناخت. در اینجا یادآور می‌شویم که یک نیوتن‌معادل $\frac{۱}{۹/۸۰۶۶۵}$ برابر کششی است که وزنهٔ یک کیلوگرمی نمونه در سطح تراز دریا و در عرض جغرافیایی ۴۵ درجه به‌فنر نیروسنج می‌دهد.

کیلوگرم نیرو واحد فرعی دیگری برای سنجش نیروست که با علامت اختصاری kgf نشان داده می‌شود.

$$۱kgf = ۹/۸۰۶۶۵N \simeq ۹/۸N$$

(علامت $\simeq$ تلفظ می‌شود: تقریباً برابر است با)

میدانهای جاذبه

دیدیم که نیروسنج را می‌توانیم برای شناخت نیروی جاذبه به‌کار بریم و برای این منظور کافی است وزنه‌هایی را به‌آن بیاویزیم و نیرویی را که فنر در برابر وزن آنها اعمال می‌کند اندازه بگیریم. ما همواره وزنه‌های مختلفی در اختیار داریم‌که جرم آنها به وسیلهٔ ترازو با مقایسه با جرم وزنهٔ نمونه

(وزنهٔ استاندارد) مشخص‌شده است. اگر دو کیلوگرم به انتهای نیروسنج آویزان کنیم کشیدگی فنر دو برابر حالتی خواهد بود که یک کیلوگرم آویزان کرده‌ایم وبنابراین وزن ۱۹/۶ = ۹/۸ × ۲ نیوتن را نشان می‌دهد. به‌نظر می‌رسد رابطه‌ای بین جرم و نیروی وزن برقرار باشد.

پرسش ۴-۵ ـ چگونه می‌توان این رابطه را تحقیق کرد؟

با استفاده از این رابطه می‌توانیم نیروسنج خود را برای تعیین جرم یک جسم نیز به‌کار بریم: کافی است جسم را به نیروسنج بیاویزیم و وزن آن را معین کنیم و این وزن را در ضریب ثابتی ضرب نماییم. ولی اگر نیروسنج خود را از مکانی که آن‌را درجه‌بندی کرده‌ایم به‌مکانی دیگر ببریم وزن جسم تغییر می‌کند یعنی دیگر نمی‌توانیم ضریب ثابت پیشین را در تعیین جرم جسم به‌کار بریم. مثلا جرم یک کیلوگرم در سطح کرهٔ ماه به جای ۹/۸ نیوتن فقط ۱/۶۷ نیوتن وزن دارد. بنابراین اگر بخواهیم نیروسنج را در کرهٔ ماه برای تعیین جرم یک جسم به کار بریم باید آن‌را در سطح همان کره مدرج کنیم یعنی ضریب ثابت را برای کرهٔ ماه تعیین نماییم بنابراین وزن هر جسم متناسب با جرم آن است ولی ضریب این نسبت در مکانهای مختلف متفاوت است.

این خاصیت را به‌صورت رابطهٔ ریاضی بنویسیم:

جرم جسم $\propto$ وزن جسم

(که بیان می‌شود وزن‌جسم متناسب است باجرم‌جسم). اگر وزن را به w و جرم را به m نمایش دهیم می‌توانیم بنویسیم:

$$w = g \cdot m \qquad (۴-۲)$$

g ضریب ثابتی است که بستگی به مکان دارد و شدت جاذبه نامیده می‌شود و برحسب $\frac{\text{نیوتن}}{\text{کیلوگرم}}$ (N/kg) بیان می‌گردد. زیرا w برحسب نیوتن و m برحسب کیلوگرم است. اندازهٔ g در روی سطح زمین درحدود ۹/۸ $\frac{\text{نیوتن}}{\text{کیلوگرم}}$ است.

پرسش ۴-۶ ـ اگر وزن یک نفر از شما ۴۹۰ نیوتن باشد جرم او چند کیلوگرم است؟ وزن او در کرهٔ ماه که شدت جاذبه ۱/۶۷ $\frac{\text{نیوتن}}{\text{کیلوگرم}}$ است چند نیوتن خواهد بود؟

اگر در نظر بگیریم که هر کیلوگرم نیرو در سطح زمین تقریباً برابر ۹/۸ نیوتن است می‌توانیم بگوییم که یک کیلوگرم نیرو عبارت است از نیرویی که از طرف زمین بر جرم یک کیلوگرم وارد می‌شود. مثلاً جسمی که جرمش ۵ کیلوگرم است در سطح زمین وزنش نیز ۵ کیلوگرم نیرو است. وزن جسم نه تنها بستگی به جرم آن دارد بلکه بستگی به مکانی که جسم در آنجا قرار می‌گیرد نیز خواهد داشت و چون در هر نقطه از اطراف زمین نیروی جاذبه بر جسم اثر می‌کند می‌گوییم اطراف زمین میدان جاذبه وجود دارد. شدت میدان جاذبهٔ زمین از مکانی به مکان دیگر تغییر می‌کند و هرچه از سطح تراز دریا بالاتر رویم مقدار آن کمتر می‌شود.

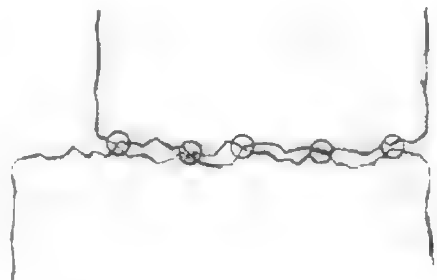
در اطراف سایر اجرام آسمانی نیز میدان جاذبه وجود دارد و میدانهای جاذبهٔ آنها ممکن است شدیدتر یا ضعیفتر از میدان جاذبهٔ زمین باشد.

دریک مکان جسمی که جرمش بیشتر است وزنش نیز بیشتر است و نسبت وزن هرجسم به جرم آن در هر نقطه از فضا مقدار ثابتی است.

نیروی اصطکاک

هر گاه سطح جسمی در حال حرکت، با سطح جسم دیگر در تماس باشد نیروی اصطکاک ایجاد می‌شود. نیروی اصطکاک همواره سبب کند شدن حرکت می‌گردد، بنابراین نیرویی است که در خلاف جهت حرکت جسم اثر می‌کند.

درسالهای اخیر تحقیقات زیادی دربارهٔ شناخت ماهیت نیروی اصطکاک صورت گرفته است و به این نتیجه رسیده‌اند که در پیدایش این نیرو چند عامل مؤثر است. یکی از این عاملها چگونگی سطح تماس دوجسم است. اگر این سطح ناهموار باشد در روی آن پستیها و بلندیهای ریزی وجود دارد (مطابق شکل ۴-۷)، که هنگام لغزیدن یك جسم بر روی جسم دیگر این ناهمواریها درهم گیر می‌کنند و اصطکاک زیاد می‌شود. درنتیجه یك مقدار از ماده ساییده می‌شود یعنی مقدار کمی ازمادهٔ هرجسم روی سطح دیگری باقی می‌ماند. از طرف دیگر اگر سطح تماس خیلی صیقلی باشد به طوری که مولکولهای زیادی باهم تماس داشته باشند، نیروی اصطکاک بازهم خیلی زیاد می‌شود زیرا به‌علت



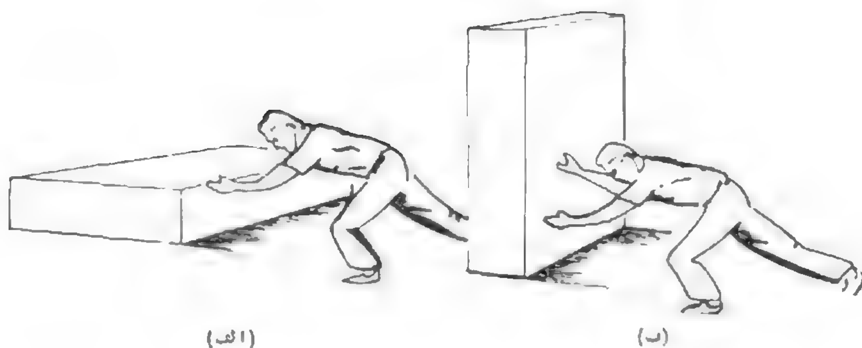
شکل ۴-۷- ناهمواریهای خیلی ریز در سطح تماس دو جسم عامل نیروی اصطکاک است.

بههم نزدیك شدن مولکولها نیروهای جاذبهٔ بین مولکولی افزایش می‌یابد و نیرویی لازم است تا مولکولها را در نقطهٔ تماس از یکدیگر جدا کند. دراین حالت مجموع این نیروهای جاذبهٔ بین مولکولی سبب پیدایش نیروی اصطکاک می‌گردد. مثلاً دوقطعه شیشه راکه خوب صیقلی شده باشند به‌زحمت می‌توان روی هم کشید. نیروی اصطکاک درسطحهایی که به‌طور متوسط صیقلی شده باشند کمتر است.

پرسش ۴-۷ - چرا روغن اصطکاک را کم می‌کند؟

یکی دیگر ازعاملهای مؤثر در افزایش نیروی اصطکاک نیرویی است که به‌طورعمودی برسطح تماس دو جسم وارد می‌شود. مثلاً اگر جسمی روی سطح افقی قرار گرفته باشد این نیروی عمودی وزن جسم است. نیروی عمودی وقتی که بزرگ باشد مواد را برسطح دوجسم می‌فشرد؛ درنتیجه نقاط زیادتری باهم تماس می‌یابند و برمیزان اصطکاک افزوده می‌شود. اکنون پی‌می‌برید که چرا مثلاً یك صندوق ۲۵ کیلو گرمی را می‌توانید راحت‌تر ازیك صندوق ۱۰۰ کیلو گرمی روی سطح افقی بکشید. این اثر را می‌توانید با آزمایش دیگر نشان دهید. کتابی را روی دیوار نگهدارید و آن را با دست خود به‌طور افقی به دیوار فشار دهید. کتاب نمی‌افتد. چه نیرویی آن‌را نگه می‌دارد؟ نیرویی که شما وارد می‌سازید افقی است ولی نیرویی که وزن کتاب را تحمل می‌کند و مانع افتادن آن می‌شود در امتداد شاقولی است واین همان نیروی اصطکاک است. اگر نیروی عمود بر دیوار را که بوسیلهٔ دست خود وارد می‌سازید رفته‌رفته کاهش دهید نیروی اصطکاک نیز کاهش می‌یابد وکتاب می‌افتد.

چون نیروی اصطکاک بستگی به‌تعداد نقطه‌های



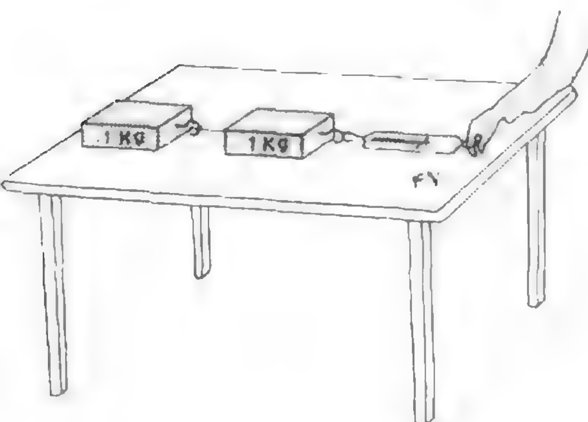
شکل ۴-۸ - اندازهٔ نیروی اصطکاک در (الف) برابر اندازهٔ آن در (ب) است

تماس دارد ممکن است تصور کنید که صندوق را از سطح کوچکتر آن راحت تر می‌توانید روی کف اتاق بکشید (شکل ۴-۸) اما این تصوردرست نیست. وقتی که صندوقرا ازسطح کوچکترش روی زمین می گذارید نیرویی که برواحد سطح تماس وارد می‌شود بیشتر از حالتی است که آنرا از سطح بزرگترش روی زمین بگذارید. درنتیجه نیروی فشارنده افزایش می‌یابد و تعداد نقطه‌های تماس در واحد سطح زیادتر می‌شود.

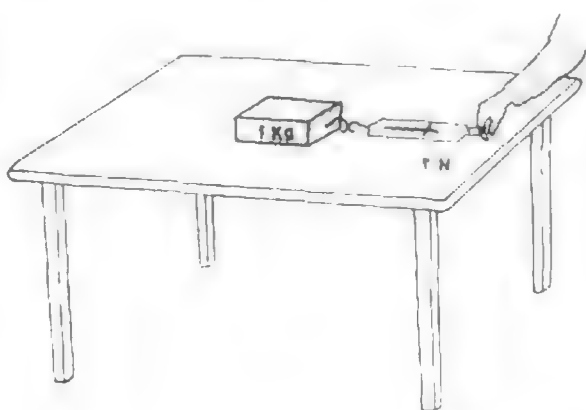
به‌طوری که تعداد کل نقطه‌های تماس در هرسطحی که صندوق روی زمین قرار گیرد برابر است. آزمایشهای دقیق‌تر نشان می‌دهد که نیروی اصطکاک متناسب با نیروی عمودی است وبستگی به چگونگی پخش نیرو بر روی سطح تماس ندارد. به‌عبارت دیگر ،

$$\boxed{F_f = \mu \ F_N} \qquad (۴-۳)$$

دراین‌معادله F_f نیروی اصطکاک و F_N نیروی



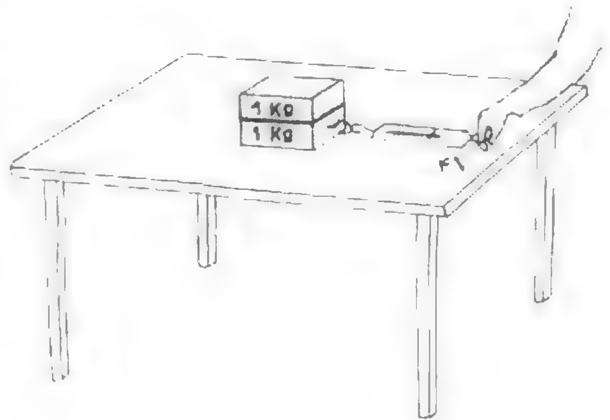
شکل ۴-۹ - ب — دووزنهٔ یک‌کیلوگرمی یکسان‌که سطح هر دو یکی است با نیروی افقی ۴ نیوتن با سرعت ثابت کشیده می‌شوند. نیروی اصطکاک چند نیوتن است؟



شکل ۴-۹ - الف — وزنهٔ یک کیلوگرمی با سرعت ثابت به‌طور افقی با نیروی ثابت ۲ نیوتنی روی سطح افقی میز کشیده می‌شود. نیروی اصطکاک چند نیوتن‌است؟

عمودی و μ (حرف یونانی با تلفظ mu) مقدارثابتی است که بستگی به چگونگی سطح تماس و جنس جسم دارد و ضریب اصطکاک نامیده می‌شود.

پرسش ۴-۸ - اگر صندوق ۳۵ کیلوگرمی با نیروی افقی ۵۰ نیوتن و باسرعت ثابت روی کف اتاق کشیده شود ضریب اصطکاک چه اندازه است؟

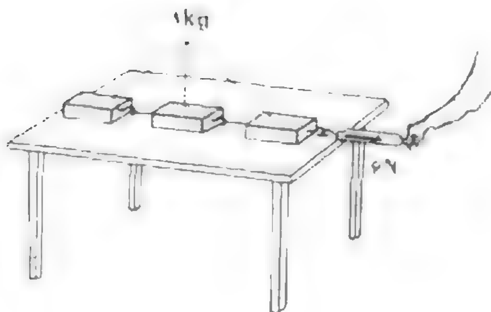


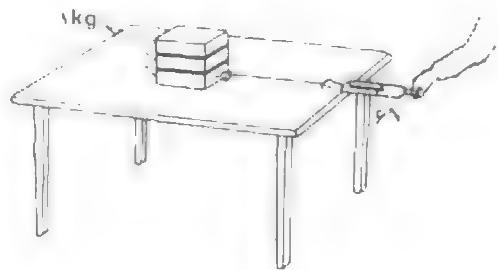
شکل ۴-۹ - ج - در اینجا نیز برای اینکه وزنه‌ها باسرعت ثابت حرکت کنند نیروی ۴ نیوتن لازم است. ضریب اصطکاک را حساب کنید.

ضریب اصطکاک در مواد مختلف بسیار متفاوت است. درزیر میزان تقریبی چند ضریب اصطکاک برای نمونه درج شده است:

چوب روی چوب (خشک)	۰/۴
فلز روی فلز (خشک)	۰/۱۵
فلز روی فلز (گریسکاری شده)	۰/۰۵ تا ۰/۰۱
لاستیک اتومبیل روی آسفالت خشک	۰/۵ تا ۰/۷
لاستیک اتومبیل روی جادهٔ یخبندان	۰/۱

دراینجا لازم است یادآور شویم که سرعت عملاً چندان مؤثری در اصطکاک نیست. هنگامی که جسم ساکن است نیروی زیادی لازم است تا به‌راه افتد ولی همین که به راه افتاد و کمی سرعت گرفت نیروی اصطکاک کم می‌شود و باافزایش سرعت تغییر محسوسی نمی‌کند.





شکل ۴-۹ د - روی سطح همین میز ۶ نیوتن لازم است تا سه وزنهٔ یک‌کیلوگرمی در هردوحالت باسرعت ثابت حرکت کنند.

اصطکاک در پاره‌ای از جاها لازم و در پاره‌ای از جاهای دیگر مانع و مزاحم است

۱ـ اصطکاک بین کف کفشهای ما و زمین هنگام راه رفتن و دویدن یاهنگام متوقف شدن لازم است. در کارخانه‌ها ماشینهایی هستند که بوسیلهٔ چرخ و تسمه توسط موتورها بحرکت درمی‌آیند. اگر اصطکاک بین تسمه و چرخ به‌اندازهٔ کافی نباشد تسمه روی چرخ لیز می‌خورد و چرخ نمی‌چرخد.

پرسش ۴ـ۹ـ چرا هنگامی که هوا بارانی است ترمز اتومبیلها خوب نمی‌گیرد ؟

۲ـ اصطکاک در بیشتر ماشینها عامل مزاحمی است زیرا مقداری از انرژی ماشین را جذب می‌کند و قطعه‌هایی از آن را که بر روی هم می‌لغزند فرسوده می‌سازد. برای کاستن نیروی اصطکاک بین این قطعه‌ها یك لایه روغن وارد می‌کنند . مثلا در موتور اتومبیل روغن بطور دائم بین سطحهای پیستون و استوانه که در تماس هستند بافشار وارد می‌شود.

پرسش ۴ـ۱۰ـ اگر روغن بین سطحهای تماس استوانه و پیستون موتوراتومبیل وارد نشود چه خواهد شد؟

هوا به‌جای روغن

در سال ۱۸۵۶ میلادی ، دانشمند فرانسوی گوستاوهیرن[۱] به این فکر افتادکه هوا را به جای روغن برای جلوگیری از اصطکاک به‌کاربرد.

ولی این فکر پس از گذشت تقریباً یك قرن مورد استفاده قرار گرفت. درسالهای اخیر کاربرد هوا به‌جای روغن در ابزارهای ماشینی بویژه ماشین سنباده‌زنی بسیار موفقیت‌آمیز بوده است . در این گونه ماشینها هوای متراکم از اطراف محور آنها با فشار خارج می‌شود و برخلاف روغن که تراکم‌ناپذیر است یك بالش کشسان بدوردمحور چرخ تشکیل می‌دهد و سبب می‌شود که محور چرخ بهنگام چرخیدن در میان این بالش قرار گیرد وبا پایه تماس نداشته باشد. بدین ترتیب اصطکاک فلز با فلز به کلی حذف می‌گردد و گرما تولید نمی‌شود . علاوه بر این خارج شدن هوا مانع وارد شدن گرد و غبار حاصل ازسنگ سنباده‌به‌اطراف‌محورمی‌شود. درچند سال اخیر کاربرد هوا برای جلوگیری از اصطکاک توسعهٔ بیشتری یافته است. مثلاً در قایقهای سریع[۲] که روی آب یا خشکی حرکت می‌کنند بالشی از هوای متراکم بین آب و قایق یا خشکی و قایق قرارمی‌گیردکه مانع تماس کامل آن با سطح آب یا زمین می‌شود. شکل (۴ـ۱۰) نخستین نمونهٔ آزمایشی یك واگن بدون چرخ را نمایش می‌دهدکه بسال ۱۹۶۶ میلادی بر روی ریلی به شکل «⊥» بر بالشی از هوای متراکم که توسط پمپهای قوی بین واگن و ریل تولید می‌شود با سرعت ۱۳۵ کیلومتر در ساعت به راه افتاده است. در نمونه‌های بعدی که مجهز به موتور جت بوده‌اند

۱- Gustave Hirn

۲- Hover craft



شکل ۴-۱۰

سرعت حرکت به چهارصد کیلومتر در ساعت رسیده است

نیروی هیدروستاتیک

پیش از این دیدیم که مایع بر جسمی که درون آن قرار می‌گیرد نیرو وارد می‌سازد. دراینجا می‌خواهیم چگونگی این نیرو را بیشتر بشناسیم. می‌دانیم ماده به‌طور معمول به سه صورت جامد ومایع و گاز یافت می‌شود. در مادهٔ جامد مولکولها اطراف وضع پایدارخود دارای حرکت ارتعاشی خفیفی‌هستند که علت آن وجود نیروهای جاذبه و دافعهٔ بین

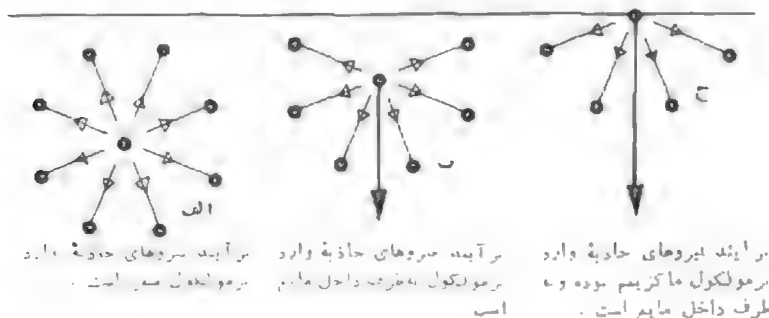
مولکولهاست. جامدهای واقعی دارای ساختمان بلوری هستند که اتمها با نظم ویژه‌ای در آن قرار گرفته‌اند. پاره‌ای از مواد، درظاهر به صورت جامدند ولی در حقیقت مایعهای بسیار چسبناکی هستند؛ قیر مثال خوبی از این گونه مواد است. هرگاه مقداری قیر را در قیفی قرار دهیم با حرکت بسیار کند پس از مدت طولانی که ممکن است چند سد سال طول بکشد در آن جریان می‌یابد.

درمایعها، مولکولها نیز دارای حرکت ارتعاشی هستند، با این تفاوت که حرکت آنها آزادتر است یعنی هر مولکول می‌تواند آزادانه ازمیان مولکولهای دیگر بگذرد وجای خودرا عوض کند. به‌عبارت دیگر هر مولکول اطراف یك وضع تعادل ناپایدار و زودگذر مرتعش می‌گردد. این خاصیت سبب می‌شود که مایع همواره به‌شکل ظرف خود درآید.

هر مولکول مایع مولکولهای دوروبر خود را جذب می‌کند ومی‌دانیم وقتی که فاصلهٔ بین مولکولها زیاد شود نیروهای جاذبه خیلی کوچك می‌شوند به طوری که اگر فاصلهٔ دو مولکول به‌حد معینی برسد نیروی جاذبهٔ بین آن دو ناچیز می‌گردد. این فاصله را شعاع کرهٔ جاذبهٔ مولکولی می‌نامند. برای هر مولکول که درون مایع قرار دارد برآیند نیروهای جاذبهٔ مولکولی در هر لحظه صفر است (شکل ۴ـ۱۱ ـ الف) ولی برای مولکولی که خیلی نزدیك به سطح آزاد مایع است برآیند این نیروها دیگر صفر نبوده وبه‌طرف داخل مایع است زیرا نیروهایی که مولکول را به‌درون مایع می‌کشند بیش از نیروهایی هستند که آن‌را به‌طرف سطح مایع می‌کشند (شکل ۴ـ۱۱ـب).

برای مولکولی که در سطح آزاد مایع است برآیند این نیروها بزرگترین مقدار خود را دارد (شکل ۴ـ۱۱ـج). در نتیجه مولکولی که رو به‌سطح مایع به‌طرف بالا حرکت می‌کند نمی‌تواند از این سطح فرار کند و به‌طرف پایین کشیده می‌شود. این خاصیت برای مایع سطح آزادی به‌وجود می‌آورد که گازها فاقد آن هستند. درمایع نیز مولکولهای سریع از سطح آزاد مایع فرار می‌کنند. دراین‌صورت می‌گوییم مایع بخار می‌شود.

پرسش ۴ـ۱۱ ـ به‌نظر شما اثر سطح مایع برروی مولکولها تا چه عمقی از سطح آزاد مایع وجود دارد؟



برآیند نیروهای جاذبهٔ وارد برمولکول ماکزیمم بوده و به طرف داخل مایع است.

برآیند نیروهای جاذبهٔ وارد برمولکول به‌طرف داخل مایع است.

برآیند نیروهای جاذبهٔ وارد برمولکول صفر است.

شکل ۴ـ۱۱ـ نمایش نیروهایی که بریك مولکول درمایع وارد می‌شود

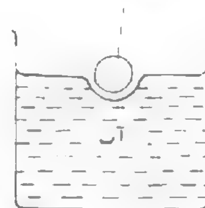
در گازها حرکت مولکولها از مایعها هم آزادتر است. نیروهای پیوستگی بین مولکولهای گاز معمولا ناچیز هستند و در نتیجه گازها همواره تمایل به انبساط دارند و مولکولهای آنها به طور نامحدود گسترده می‌شوند و تمام فضایی را که در آن قرار گرفته‌اند اشغال می‌کنند.

نیروهای کشش سطحی

بین مولکولهایی که در سطح مایع قرار می‌گیرند نیروهای پیوستگی نیز وجود دارند. این نیروها مانع می‌شوند که مولکولهای سطح مایع خود به‌خود کنار بروند و این سطح شکاف بردارد. با آزمایشهای زیر می‌توانید به‌وجود چنین نیروهایی پی ببرید.

۱) یك تیغ ریش تراشی را به‌آرامی از طرف پهن آن به‌طور افقی روی سطح آب داخل یك ظرف بگذارید. تیغ برسطح آب شناور می‌ماند.

۲) یك سوزن خیاطی کوچك را به‌آرامی روی سطح آب همین ظرف بگذارید و اگر این کار را



شکل ۴-۱۲ - سوزن به سبب نیروی کشش سطحی در سطح آب شناور می‌ماند

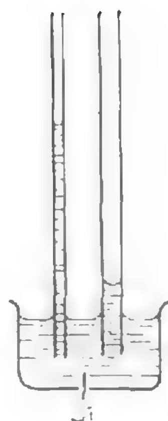
به آسانی نمی‌توانید انجام دهید سوزن را روی یك قطعه کاغذ صافی در سطح آب شناور سازید. پس از مدت کوتاهی کاغذ درآب فرو می‌رود و سوزن بر سطح آب شناور می‌ماند. در هریك از این آزمایشها سطح آب را درکنار لبه‌های تیغ یا دوروبر سوزن با یك ذره‌بین دستی قوی بررسی کنید. خواهید دید که سطح آب اندکی فرو رفته است (شکل ۴-۱۲).

پرسش ۴-۱۲ - چرا وقتی که چندقطره محلول صابون یا مایع ظرفشویی یا محلول پودر رختشویی به‌آب می‌افزایید شناور کردن سوزن برسطح آب به سختی امکان‌پذیر است؟

پرسش ۴-۱۳ - کسانی که در یك اردوگاه زیر چادر به‌سر می‌برند می‌دانند هنگامی که باران می‌بارد نباید روی سطح درونی چادر دست بمالند. چرا؟

خاصیت مویینگی

یك سر لولهٔ راست و بسیار باریك شیشه‌ای به نام لولهٔ مویین را که هر دو سر آن باز است در آب درون ظرفی قرار دهید. آب تا ارتفاع چند سانتیمتر درلوله بالا می‌آید. اگر آزمایش را با لوله‌هایی به قطرهای مختلف انجام دهید خواهید دید هرچه لوله باریکتر باشد آب در آن بیشتر بالا می‌آید (شکل ۴-۱۳). علت بالا رفتن آب در لولهٔ مویین آن است که نیروهای چسبندگی بین مولکولهای آب و شیشه بزرگتر از نیروهای پیوستگی بین مولکولهای آب است. آب در لوله آن قدر بالا می‌آید تا نیروی چسبندگی بین مولکولهای آب و شیشه با وزن ستون



شکل ۴-۱۳ - خاصیت مویینگی

آب درلوله برابر شود.

پرسش ۴-۱۴ - هر گاه به آب چند قطره آب صابون یا محلول پودر رختشویی بیفزایید و یك لولهٔ مویین درآن بگذارید ارتفاع بالا آمدن آب در لوله کمتر از حالتی است که لوله را در آب خالص قرار می‌دهید. علت را توضیح دهید.



شکل ۴-۱۴ -

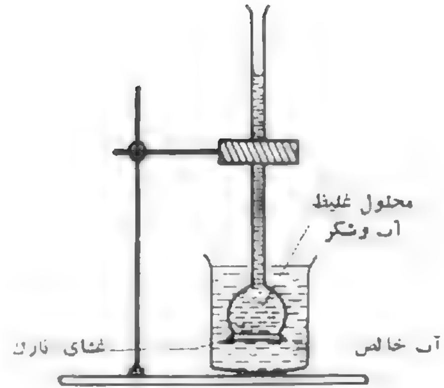
هر گاه یك سرلولهٔ مویین را در ظرف محتوی جیوه قرار دهید سطح جیوه در لوله پایین‌تر از سطح آن در ظرف می‌ایستد (شکل ۴-۱۴). علاوه بر این سطح جیوه در لوله محدب است. به‌نظر می‌رسد که نیروهای پیوستگی بین مولکولهای جیوه بزرگتر از نیروهای چسبندگی بین این مولکولها و مولکولهای شیشه است.

به‌طور کلی مایعهایی که مانند آب به بدنهٔ ظرف می‌چسبند و آن را تر می‌کنند درلولهٔ مویین بالا می‌آیند ولی مایعهایی که مانند جیوه به بدنهٔ ظرف نمی‌چسبند و آنرا تر نمی‌کنند در لوله پایین می‌روند خاصیت مویینگی سبب می‌شود که مایعها در جسمهایی مانند کاغذ صافی، خاك، حولهٔ حمام و حبه قند نفوذ کرده و پخش شوند

خاصیت اسمز

هر گاه میوه‌های خشك مانند برگهٔ هلو یا قیسی را درآب بریزید پس از چند ساعت متورم می‌شوند وکمابیش شکل اولیهٔ خود را باز می‌یابند زیرا آب ازغشای سلولهای میوه به درون آنها نفوذ می‌کند. در همین مدت عصارهٔ میوه نیز از غشای سلولها به‌بیرون تراوش می‌کند به‌طوری‌که رنگ و بو ومزهٔ عصاره را در آب حس می‌کنید ولی میزان نفوذ آب به درون سلولها خیلی بیشتر از تراوش عصاره به بیرون است. علت این است که غشای سلول از یك پوستهٔ نیمه تراوا تشکیل یافته است که مولکولهای آب به درون آن نفوذ می‌کنند. این خاصیت را اسمز[1]

1 - Osmose



شکل ۴-۱۵- خاصیت اسمز

گویند. برای نشان دادن خاصیت اسمز می‌توانید آزمایش زیر را انجام دهید.

لولهٔ باریک قیف‌داری را مطابق شکل ۴-۱۵ که قیف آن را از محلول غلیظ آب شکر پر کرده و دهانهٔ قیف را با ورقهٔ خیلی نازک پوست محکم بسته‌اید درون ظرفی که محتوی آب خالص است قرار دهید به طوری که دهانهٔ قیف رو به پایین باشد. خواهید دید که پس از مدت کوتاهی سطح آب در لوله بالا می‌رود. پوست نازک غشای نیمه‌تراوایی‌است که مولکولهای آب به‌آسانی از آن می‌گذرند ولی مولکولهای بزرگ شکر نمی‌توانند به آسانی مولکولهای آب از آن بگذرند. بدیهی است مولکولهای آب از هر دو طرف از غشای پوستی عبور می‌کنند ولی به علت وجود مولکولهای شکر، عدهٔ مولکولهای آب در واحد حجم آب خالص بیشتر از عدهٔ مولکولهای آب در واحد حجم محلول شکر است. در نتیجه مولکولهای بیشتری از طرف آب خالص به‌طرف آب شکر می‌روند. خاصیت اسمز درجذب غذا ودفع مواد زاید به وسیلهٔ سلولهای زندهٔ حیوانی وگیاهی نقش مهمی دارد. مثلا درجذب آب توسط ریشهٔ گیاهان از زمین یا دفع مواد زایدار گلبولهای خون در کلیه‌ها.

خودتان آزمایش کنید

۱) یك قطعه نوار لاستیکی را به پایه‌ای بیاویزید. وزنه‌هایی با جرمهای دانسته (مثلاً ۱۰ گرم، ۲۰ گرم، ۵۰ گرم، ۱۰۰ گرم و . . .) به‌آن بیاویزید و افزایش طول نوار را هر بار اندازه بگیرید. سپس روی کاغذ میلیمتری یا شطرنجی دو محور یکی افقی و دیگری عمود بر آن بکشید و جرمها را روی محور افقی و افزایش طول را روی محورعمود بر آن ببرید و نمودار تغییرات طول نوارلاستیکی را باوزنه‌ها رسم کنید و بررسی نمایید. آیا نوار لاستیکی از رابطهٔ $F = k\Delta l$ پیروی می‌کند؟

۲) همین آزمایش را با یك فنر مارپیچی نرم که به‌پایه‌ای کنار یك خط‌کش‌مدرج آویخته‌اید تکرار کنید و نمودار تغییرات طول فنر را برحسب جرم وزنه‌ها نمایش دهید وضریب ثابت فنررا حساب کنید.

۳) آزمایشهایی نظیر آنچه در شکلهای ۴-۱۴ دیده‌اید با نیروسنج و وزنه‌های مناسب تکرار کنید. درصورتی که وزنه‌های مناسب در اختیار ندارید با آجرهای یکسان آزمایش کنید (قبلا وزن هر آجر را معین نمایید). نیروی اصطکاك و ضریب اصطکاك را در هر آزمایش تعیین و مقایسه کنید.

۴) آزمایشهای مربوط به کشش سطحی

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) از کلمهٔ نیرو چه مفهومی را استنباط می‌کنید ؟

۲) نیروهایی را که با آنها آشنا شده‌اید نام ببرید و دربارهٔ هریك مختصری توضیح دهید .

۳) نیروی کششانی در یك جسم جامد چه وقت ظاهر می‌شود ؟

۴) توضیح دهید که چگونه با یك فنرمارپیچ و وسایل دیگری که در اختیار دارید می‌توانید یک ترازوی فنردار بسازید و آن‌را مدرج کنید به‌طوری‌که بتوانید وزن جسمی را با آن تعیین کنید.

۵) دریک آزمایش فنری را به پایه‌ای آویزان کرده و وزنه‌های مختلفی را بـه ته آن آویخته‌ایم. فاصلهٔ انتهای پایینی فنر از سطح میز را به‌ازای هر وزنه با خط‌کش مدرج اندازه گرفته‌ایم و جدول زیر را به دست آورده‌ایم :

جرم وزنه‌های آویخته شده(برحسب گرم)	۰	۲۰	۴۰	۶۰	۸۰	۱۰۰	۱۲۰
فاصلهٔ انتهای فنر ازسطح میز(برحسب سانتیمتر)	۴۰/۰	۳۸/۹	۳۸/۱	۳۷/۱	۳۵/۹	۳۴/۹	۳۴/۱

نموداری رسم کنید (روی کاغذ میلیمتری یـا شطرنجی) که تغییرات طول فنر را بـرحسب جرم وزنه‌های مختلفی که به‌آن آویزان شده است نشان دهد و دربارهٔ نموداری کـه رسم کرده‌اید بحث کنید (در چند سطر بنویسید) .

۶) نیروی اصطکاك در اثر چه عاملهایی به‌وجود می‌آید ؟

۷) چرا نیروی اصطکاك هنگام حرکت کوچکتر از نیروی اصطکاك درلحظهٔ به‌راه افتادن جسم است؟

۸) دو آزمایش ساده و مختلف را به اختصار شرح دهید کـه نمایشگر نیروی کشش سطحی در مایعها باشند .

۹) هرگاه مقدار کمی آب روی سطح یک قطعه موم مسطح یا روی یک تخته که سطح آن چرب است ریخته شود به‌صورت قطره‌هایی درمی‌آید ولی اگر روی سطح شیشهٔ تمیزی ریخته شود به شکل لایهٔ نازکی

گسترده می‌شود. این خاصیت را براساس نیروهای بین مولکولی توضیح دهید.

۱۰) خاصیت اسمزی چیست؟

این مسئله‌ها را حل کنید

۱) طول فنری ۶٫۰ سانتیمتر است. هرگاه وزنهٔ ۰٫۲۰۰ کیلوگرمی به‌آن آویخته شود طولش به ۷٫۵ سانتیمتر می‌رسد:

الف ـ ثابت این فنر چه اندازه است؟ (دستگاه SI را برای محاسبه به‌کار ببرید)

ب ـ طول فنر به‌ازای چه وزنه‌ای به ۸٫۷ سانتیمتر می‌رسد؟

۲) وزن شخصی ۸۵ کیلوگرم نیروست:

الف ـ جرم این شخص چند کیلوگرم است؟

ب ـ وزن او چند نیوتن است؟

ج ـ وزن او در سطح کرهٔ ماه چند نیوتن است؟

د ـ جرم او در کرهٔ ماه چندکیلوگرم است؟

۳) صندوق ۵۰ کیلوگرمی با سرعت ثابت روی سطح افقی توسط نیروی ۸۰ نیوتن کشیده می‌شود. ضریب اصطکاک بین صندوق و سطح چه اندازه است؟ اگر صندوق دیگری مشابه صندوق اول روی‌آن قرار دهیم نیروی اصطکاک چه‌اندازه خواهد شد؟ آیا در ضریب اصطکاک تغییری حاصل خواهد شد؟ توضیح دهید.

۴) در آزمایشی برای تعیین ضریب اصطکاک، یک قطعه چوب ۳ کیلوگرمی به وسیلهٔ فنری که ثابت فنر آن $50 N/m$ است روی سطح یک میز با سرعت ثابت کشیده می‌شود. اگر در این آزمایش، هنگام کشیدن قطعه‌چوب، طول فنر از ۶٫۰ سانتیمتر به ۱۵٫۵ سانتیمتر برسد، ضریب اصطکاک چقدر است؟

پاسخ به‌پرسشهای متن

۴ـ۱) باسکول فنری مخصوص توزین انسان.

که نیروی کشش از حد کشسانی می‌گذرد.

۴ـ۲) وزنه‌هایی به‌نوبت به هریک از دو فنر می‌آویزیم. باید هر دو به‌ازای یک وزنه به‌یک اندازه افزایش طول پیدا کنند.

۳-۴) وزنه‌ای را انتخاب کنید که هر گاه به سه فنر آویخته شود کشش معینی به آنها بدهد. سپس این وزنه را به یک فنر به‌تنهایی آویزان کنید. باید کشش آن ۳ برابر شود. این کار را با ۴ و ۵ فنر تکرار کنید.

۴-۴) کاملا دقیق نیست. زیرا منحنی نمایش آن عملا خط راست نیست. روی هم رفته تا حد کشسانی می‌توان آن‌را به‌کار برد. ثابت فنر با دما نیز تغییر می‌کند.

۵-۴) وزن جرمهای مختلف را معین کنید و ببینید نسبت وزن به‌جرم ثابت است.

۶-۴) از رابطهٔ $w = g \cdot m$ نتیجه می‌شود:

$$m = \frac{w}{g} = \frac{۴۹۰}{۹/۸} = ۵۰\,kg$$

در سطح ماه:

$$w_L = g_L \times m = ۱/۶۷ \times ۵۰ \simeq ۸۳/۵\,N$$

۷-۴) لایهٔ نازک روغنی که بین دو سطح تماس قرار می‌گیرد مانع تماس مستقیم دوسطح می‌شود.

۸-۴)

$$\mu = \frac{F_f}{F_N} = \frac{F_f}{w} = \frac{۵۰N}{۹/۸ \times ۳۵} \simeq ۰/۱۵$$

۹-۴) یک لایهٔ نازک آب بین ترمز و رینگ چرخ قرار می‌گیرد و اصطکاک بین ترمز و چرخ را کم می‌کند.

۱۰-۴) به‌علت افزایش دما، پیستون منبسط شده و در استوانه گیر می‌کند و موتور متوقف می‌شود.

۱۱-۴) به اندازهٔ شعاع کرهٔ جاذبه مولکولی که در حدود قطر چند مولکول است.

۱۲-۴) نیروی کشش سطحی کم می‌شود.

۱۳-۴) زیرا لایهٔ نازک و محافظی که از مولکولهای آب در اثر کشش سطحی در سطح داخلی چادر تشکیل شده است می‌شکند و آب به‌داخل چادر نفوذ می‌کند.

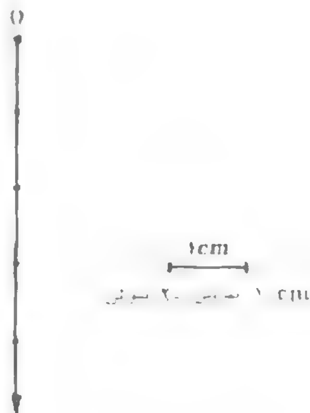
۱۴-۴) نیروهای چسبندگی بین مولکولهای مایع و جدار لوله کم می‌شود.

۵

ترکیب نیروها

نیرو کمیت برداری است

در بخش ۳ گفتیم که مسافت و تندی کمیتهای برداری هستند زیرا هم دارای اندازه و هم دارای جهتند. نیرو هم چون دارای اندازه و جهت است کمیت برداری است. هر کمیت برداری مانند نیرو را به یک بردار نمایش می‌دهند یعنی به‌یک پاره خط که دارای جهت و راستا و بزرگی است. طول پاره‌خط نمایندهٔ بزرگی کمیت است که به‌مقیاس انتخاب‌شده‌ای سنجیده می‌شود، مثلا اگر هر سانتیمتر را نمایش نیروی ۲۰ نیوتن بگیریم، نیروی ۱۰۰ نیوتن را که در راستای قائم از بالا به طرف پایین بر نقطهٔ O وارد می‌شود به شکل ۵ ـ ۱ نمایش می‌دهیم.



شکل ۵ ـ ۱ـ نمایش نیرو به وسیلهٔ یک بردار

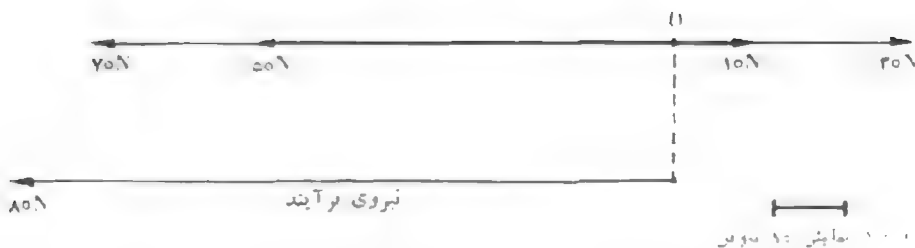
پرسش ۵-۱ ـ نیروی ۱۲ نیوتن را که به طور افقی از چپ به‌طرف راست بر جسمی وارد می‌شود چگونه نمایش می‌دهید؟

نیروی برآیند

هرگاه دو یا چند نیرو با هم بر جسمی وارد شوند اغلب می‌توان نیرویی را یافت که به‌تنهایی همان اثر دو یا چند نیرو را بر جسم داشته باشد. چنین نیرویی برآیند آن نیروها نامیده می‌شود. مثلا اگر دو پسر قایقی را به‌وسیلهٔ یک طناب باهم از روی آب به‌طرف ساحل بکشند و یکی نیروی ۲۰۰ نیوتن و دیگری نیروی ۳۰۰ نیوتن وارد سازد، برآیند این دو نیرو ۵۰۰ نیوتن است و یک مرد می‌تواند به‌تنهایی این‌دو نیرو را وارد سازد.

چگونه نیروی برآیند را تعیین می‌کنیم؟

الف ـ برآیند نیروهایی‌که درامتداد یک‌خط راست برجسمی وارد می‌شوند ـ برآیندنیروهایی که راستای آنها یکسان است به آسانی از به هم افزودن یا ازهم‌کاستن‌آنها‌به دست می‌آید. مثلا فرض می‌کنیم



شکل ۵-۲- برآیند نیروهای همراستا از به هم افزودن یا از هم کاستن آنها به دست می‌آید.

که نیروهای ۷۰ و ۵۰ و ۳۰ و ۱۰ نیوتن طبق شکل ۵-۲ بر نقطهٔ O اثر می‌کنند.

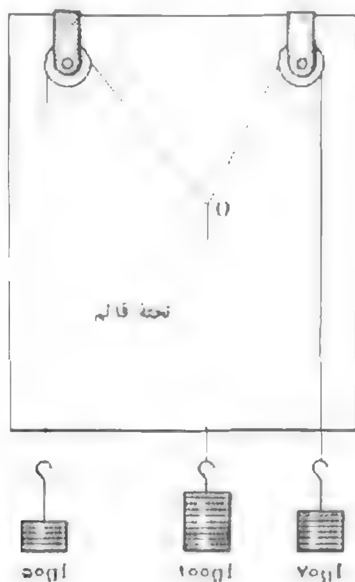
مجموع نیروهایی که از چپ به راست اثر می‌کنند برابر است با $۱۰ + ۳۰ = ۴۰$ N

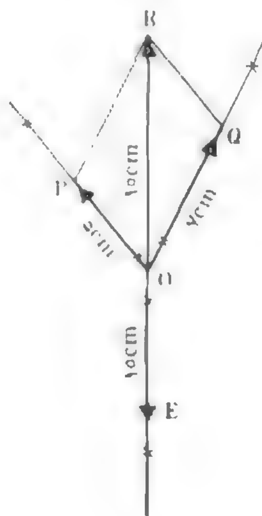
و مجموع نیروهایی که از راست به چپ اثر می‌کنند برابر است با $۵۰ + ۷۰ = ۱۲۰$ N

نیروی برآیند آنها $۱۲۰ - ۴۰ = ۸۰$ نیوتن است که از راست به چپ اثر می‌کند.

پرسش ۵-۳ - اگر دو نیروی مساوی در یک راستا ولی در دو جهت مخالف بر جسمی اثر کنند نیروی برآیند آنها چه اندازه است؟

ب - برآیند نیروهایی که راستاهای متفاوت دارند - شکل ۵-۳ تخته‌ای را نشان می‌دهد که دو قرقرهٔ سبک و روان در بالای آن نصب شده و در سطح قائم قرار گرفته است. به دو سر نخی که از روی قرقره‌ها گذشته است دو وزنهٔ ۵۰ گرمی و ۷۰ گرمی آویزان است و به انتهای نخ دیگری که در نقطهٔ O به نخ اول بسته شده وزنهٔ ۱۰۰ گرمی آویزان است و





شکل ۵-۳- روش متوازی الاضلاع برای تعیین برآیند دو نیروی متقاطع

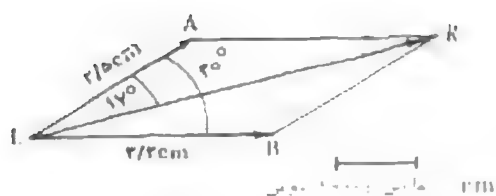
نخها در وضعیتی قرار گرفته‌اند که نیروهای وارد بر نقطهٔ O در حال تعادلند .

می‌توان با نوك یك مداد به‌دقت روی ورقهٔ کاغذی که با پونز یا نوار چسب بر تخته نصب شده است اثر راستای نخها را نشان کرد و کاغذ را از روی تخته برداشت. اثر راستای نخها روی صفحهٔ کاغذ ، امتداد سه نیرویی را که بر نقطهٔ O وارد می‌شوند نشان می‌دهد. اگر هر سانتیمتر نمایش ۱۰ گرم نیرو باشد می‌توان از نقطهٔ O سه بردار به طولهای OP = ۵ cm و OQ = ۷ cm و OE = ۱۰ cm را که نمایش سه نیروی ۵۰ و ۷۰ و ۱۰۰ گرم نیرو هستند رسم کرد. بدیهی است نیروی OE با دو نیروی OP و OQ روی هم ، تعادل دارد . بنابر این برآیند دو نیروی OP و OQ باید برابر OE و در خلاف جهت آن باشد

برای نمایش این برآیند کافی است که بردار OR را به طول ۱۰ سانتیمتر در راستای OE و در خلاف جهت آن رسم کرد. اگر دو خط PR و QR را وصل کنیم شکل OPQR حاصل می‌شود و می‌توان بررسی کرد که این شکل متوازی‌الاضلاع است .

این آزمایش روش مهمی را برای تعیین برآیند دو نیروی متقاطع نشان می‌دهد که به‌نام روش متوازی‌الاضلاع نامیده می‌شود. بدین‌معنی که اگر دو نیروی وارد بر یك نقطه از لحاظ اندازه و راستا به دو ضلع یك متوازی‌الاضلاع نمایش داده شوند نیروی برآیند آنها را از لحاظ اندازه و راستا می‌توان با قطر این متوازی‌الاضلاع که از همان نقطه رسم می‌شود نمایش داد .

مثال ــ یك کشتی بخار توسط دو یدك‌کش با دو طناب LA و LB که باهم زاویهٔ ۳۰ درجه می‌سازند با دو نیروی ۲۵۰۰۰ نیوتن و ۳۲۰۰۰ نیوتن



شکل ۵-۴ ـ نمایش هندسی برآیند دو نیرو

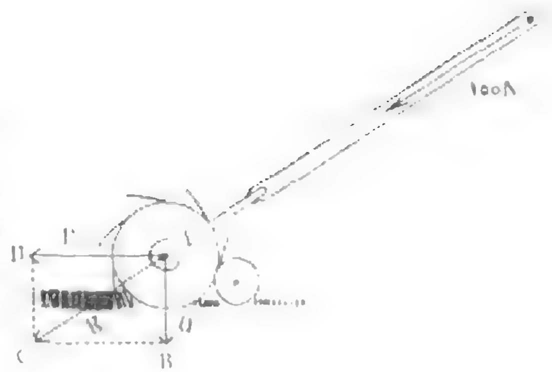
به طرف لنگرگاه کشیده می‌شود . برآیند این دو نیرو به‌روش متوازی‌الاضلاع (شکل ۵-۴) تقریباً ۵۵۰۰۰ نیوتن به دست می‌آید .

پرسش ۵-۳ ـ اندازهٔ برآیند دو نیروی ۴۰ نیوتنی و ۳۰ نیوتنی که در دو راستای عمود بر هم بر یك نقطه اثر می‌کنند چیست ؟

تجزیهٔ نیروها

دانستیم چگونه می‌توان نیرویی را به‌دست آورد که به‌تنهایی بتواند از عهدهٔ عمل دو نیرو که بر یك نقطه اثر می‌کنند بر آید . ولی گاهی لازم می‌شود که یك نیرو را به دو نیروی دیگر در دو راستای مختلف تبدیل کنیم . این عمل را تجزیهٔ یك نیرو به دو مؤلفه (هَمْنه) گویند . در عمل اغلب نیرو به دو مؤلفهٔ عمود بر هم تجزیه می‌شود . در نظر بگیرید که با یك ماشین چمن زنی می‌خواهید چمن بزنید و روی دستهٔ آن نیروی R وارد می‌سازید (شکل ۵-۵). چگونه می‌توانید نیرویی تعیین کنید که این ماشین را به‌طرف جلو می‌راند ؟

اگر R را در حکم برآیند دو نیروی P (افقی) و Q (عمود بر P) بگیرید نیروی افقی P است که سبب حرکت ماشین به طرف جلو می‌شود و می‌توانید



شکل ۵-۵ - تجزیهٔ نیرویی که بر دستهٔ یک ماشین چمن‌زنی وارد می‌شود.

اندازهٔ آن‌را با رسم مستطیل ABCD به دست‌آورید.

پرسش ۵-۴ - نیروی عمودی Q چه عملی انجام می‌دهد؟

پرسش ۵-۵ - اگر نیروی R برابر ۱۵۰ نیوتن باشد و راستای دستهٔ ماشین با سطح افقی‌زمین زاویهٔ ۶۰ درجه بسازد اندازهٔ هر یک از مؤلفه‌های P و Q چیست؟

مثال دیگر - یک گلوله تا وقتی که روی سطح افقی قرار دارد نیروی ورزش مانع حرکت آن می‌شود ولی اگر همین گلوله را روی سطح شیب‌داری بگذاریم دراثر وزن خود به‌طرف پایین سطح می‌غلتد. در این مثال نیز، نیروی وزن گلوله که آن را به W نمایش داده‌ایم و در راستای قائم است به دو مؤلفهٔ P و Q تجزیه می‌شود. مؤلفهٔ P که موازی باسطح شیب‌دار است سبب حرکت گلوله می‌شود و مؤلفهٔ Q که عمود بر سطح شیب‌دار است گلوله را بر این سطح می‌فشارد (شکل ۵-۶).

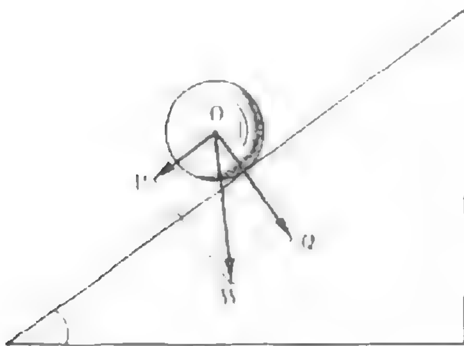
نیروهای موازی

در نظر بگیرید که دو پسر، باری را به‌میله‌ای آویخته‌اند و با خودمی‌برند. میله دراثرسنگینی بار، به طرف پایین کشیده می‌شود و هر یک از دو پسر با دست خود نیرویی رو به بالا بر سر میله واردمی‌سازد. در این مثال نیروها موازی هستند.

نیروهای موازی‌یا هم‌جهتند یا درجهت مخالف هم اثر می‌کنند. بزرگی برآیند دو نیروی موازی هم جهت برابر مجموع آن دو نیروست و بزرگی دو نیروی موازی‌که در خلاف‌جهت‌هم اثر می‌کنندبرابر تفاضل آنهاست.

گشتاور یک نیرو

در مثال بالا اگر فاصلهٔ بار از دست دو پسر برابر نباشد چگونه می‌توانید نیرویی راکه بر دست هریک از آن دو وارد می‌شود تعیین کنید؟ برای‌پاسخ



شکل ۵-۶ - در روی سطح‌شیب‌دار نیروی وزن یک‌حجم (W) به دومؤلفهٔ عمود برهم تجزیه شده است.

دادن به این پرسش باید گشتاور[1] نیرو را بشناسید بگذارید تا مسئلهٔ دیگری را مطرح کنیم :

یك میلهٔ محکم AB مطابق شکل ۵-۷ داریم که می‌تواند به دور محور یا تکیه‌گاه C مانند یك اهرم بچرخد . به انتهای A نیروی F ، مثلاً برابر ۴۰ نیوتن و به‌انتهای B نیروی F′ برابر ۲۰ نیوتن هردو عمود بر راستای AB رو به‌پایین واردمی‌شوند.

نیروی F′ می‌خواهد میله‌را به‌دورتکیه‌گاه C در جهت حرکت عقربهٔ‌ساعت بگرداند و نیروی F می‌خواهد آن را در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت بگرداند.

چه عاملهایی در گشتن میله به‌دورتکیه‌گاه C مؤثرند؟ نیرو تنها عامل مؤثر در گرداندن میله به‌دور تکیه‌گاه خود نیست بلکه فاصلهٔ نیرو از تکیه‌گاه نیز در آن مؤثر است .

عامل مؤثر در گشتن یك جسم به دور یك محور «گشتاور نیرو» نامیده می‌شود و برابر است با حاصل ضرب نیرو در فاصلهٔ آن از محوری که جسم به‌دور آن می‌گردد. این فاصله را بازوی نیرونیزمی‌گویند.

مثلاً نیروی F′ برابر ۲۰ نیوتن است که به انتهای بازوی BC در جهت حرکت عقربه‌های ساعت اثر می‌کند . اگر طول این بازو ۱/۲ متر باشد اندازهٔ گشتاور این نیرو نسبت به محور گردش میله (تکیه‌گاه C) برابر است با ۲۴ = ۱/۲ × ۲۰ نیوتن-متر (با علامت اختصاری N·m). نیروی F برابر ۴۰ نیوتن است که به انتهای بازوی AC در جهت‌مخالف حرکت عقربه‌های ساعت اثر می‌کند . اگر طول این بازو ۰/۶ متر باشد اندازهٔ گشتاور این نیرو نسبت‌به محور گردش میله نیز برابر است با :

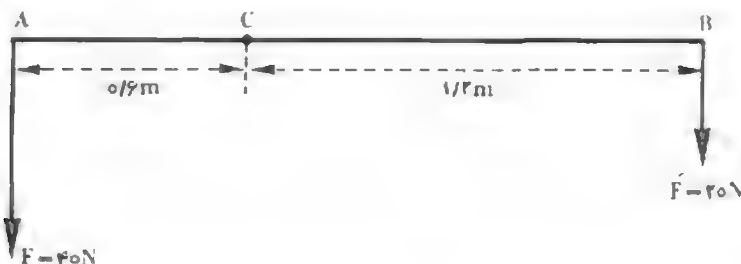
۴۰ × ۰/۶ = ۲۴ N·m

پرسش ۵-۶–آیا در این حالت میلهٔ AB به دور تکیه‌گاه C می‌گردد ؟

پرسش ۵-۷ – اگر یکی ازنیروها مثلاً F′ بر راستای AB عمود نباشد بازوی مؤثر این نیرو کدام است ؟

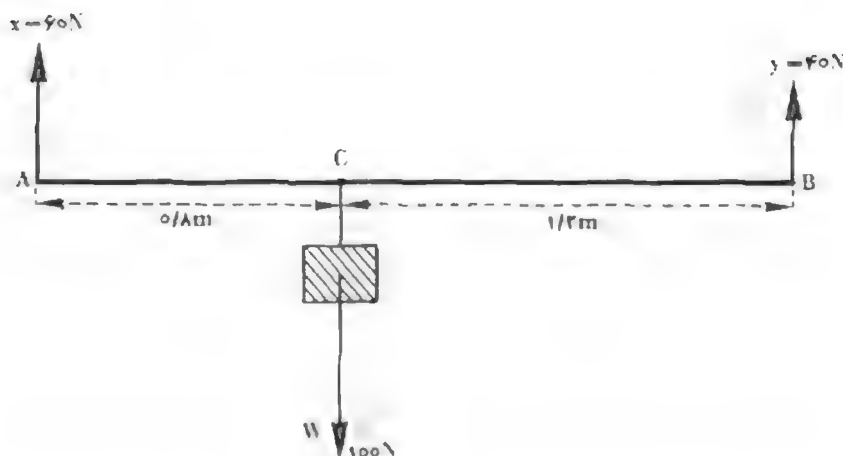
چگونه از گشتاور نیرو استفاده می‌شود ؟

بار دیگر دو پسر را در نظر بگیرید که باری را با یك میله می‌برند . شکل ۵-۸ نمودار نیروهارا نشان می‌دهد .



شکل ۵-۷ - گشتاور نیروسبب‌گشتن جسم به‌دور یك‌محورمی‌شود و برابراست باحاصل‌ضرب نیرو درفاصلهٔ آن ازمحور.

1- کلمهٔ گشتاور مرکب از دو کلمهٔ سادهٔ گشت و آوراست .



شکل ۵-۸ - بخشی از نیروی وزن W را که هریک از پسرها در A و B متحمل می‌شوند به کمک گشتاور نیرو می‌توان حساب کرد.
درحال تعادل: $60N \times 0/8m = 40N \times 1/2m$

فرض کنید طول میله ۲ متر و وزن بار ۱۰۰ نیوتن است. هریک از پسرها چه بخشی از وزن بار را با دست خود تحمل می‌کند؟ نیرویی که بر دست هر پسر رو به پایین وارد می‌شود در حال تعادل برابر است با نیرویی که دست او بر میلهٔ رو به بالا وارد می‌سازد. برای تعیین نیرویی که دست یک پسر مثلاً در A بر میله وارد می‌سازد کافی است سر دیگر میله یعنی B را که در دست پسر دیگر است در حکم تکیه‌گاه (محور) بگیریم. بنابراین، پسر A در جهت حرکت عقربه‌های ساعت عمود بر راستای میله نیرویی وارد می‌سازد که فاصلهٔ آن ازمحور فرضی B، ۲ متراست. اگر این نیرو را به x نمایش دهیم گشتاور آن نسبت به B برابر است با $x \times 2$. گشتاور نیروی وزن بار که در فاصلهٔ ۱/۲ متری تکیه‌گاه فرضی B درخلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت اثر می‌کند برابر است با $100\ N \times 1/2\ m$. برای این که میله ترازمند باشد، دو گشتاور باید باهم برابر باشند یعنی:

$$2 \times x = 100 \times 1/2 = 120\ N{\cdot}m$$

یا

$$x = 60\ N$$

واین نیرویی است که بردست پسر در A واردمی‌شود.

برای تعیین نیرویی که دست پسر دیگر در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت به انتهای B وارد می‌سازد، A را در حکم محور یا تکیه‌گاه می‌گیریم. اگر این نیرو را به y نمایش دهیم گشتاور آن نسبت به A برابراست با $y \times 2$. گشتاور نیروی وزن بار که درفاصلهٔ ۰/۸ متری A درجهت حرکت عقربه‌های ساعت اثر می‌کند برابر است با $100 \times 0/8$ بنابر این می‌توان نوشت:

$$y \times 2 = 100 \times 0/8 = 80$$

که نتیجه می‌شود:

$$y = 40\ N$$

دراین مثال وزن میله را ناچیز گرفته‌ایم.

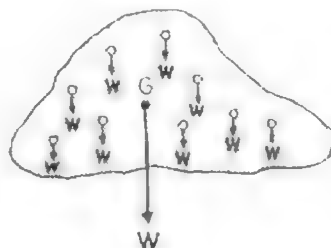
گرانیگاه و تعادل

گفتیم که هر جسم در اثر نیروی جاذبه به طرف زمین کشیده می‌شود و این نیرو سنگینی یا وزن جسم را تشکیل می‌دهد. ولی در بارهٔ چگونگی اثر این نیرو بر جسم تااینجا چیزی نگفته‌ایم. در اینجا می‌خواهیم در بارهٔ آن گفتگو کنیم.

هر جسم جامد، مانند یك قطعه سنگ را می‌توان مرکب از تعداد زیادی ذره‌های کوچك و یکسان دانست که هر یك از آنها در اثر نیروی جاذبه به طرف زمین کشیده می‌شود. بنابر این نیروی جاذبهٔ زمین برجسم، یا به عبارت دیگر وزن جسم، برآیند تعداد زیادی نیروهای کوچك مساوی و موازی است که بر ذره‌های موجود در آن اثر می‌کنند. این برآیند بر نقطه‌ای مانند G اثر می‌نماید (شکل ۵ــ۹) که گرانیگاه یا مرکز ثقل جسم نامیده می‌شود. بنابراین:

گرانیگاه یك جسم نقطهٔ اثر نیروی جاذبه‌ای است که از طرف زمین بر آن وارد می‌شود.

یك خط‌کش را می‌توان روی نوك انگشت به حال تعادل نگه‌داشت و این در صورتی است که نوك انگشت درست زیر گرانیگاه آن قرار گیرد. در این صورت نیروی جاذبه که در راستای قائم رو به پایین بر انگشت وارد می‌شود با نیروی عکس‌العمل انگشت که مساوی وزن خط‌کش است و در جهت مخالف آن رو به بالا بر خط‌کش اثر می‌نماید خنثی می‌گردد.

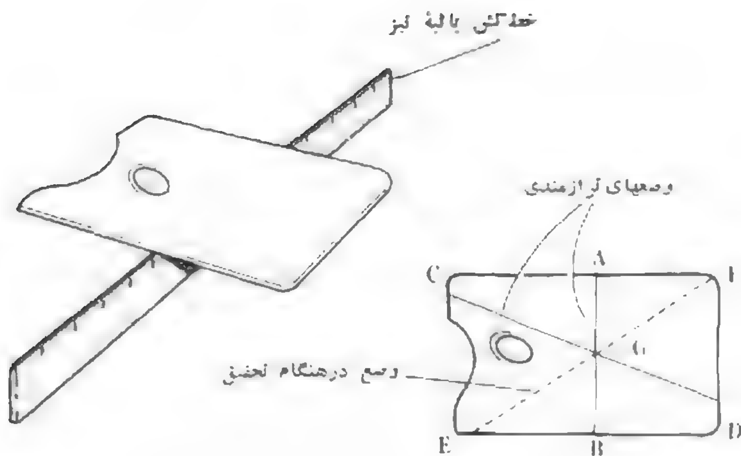


شکل ۵ ــ۹ــ گرانیگاه یك جسم نقطه‌ای است که برآیند نیروهای جاذبه وارد بر ذرات جسم بر آن اثر می‌کند.

چگونه گرانیگاه را در یك جسم معین می‌کنیم؟

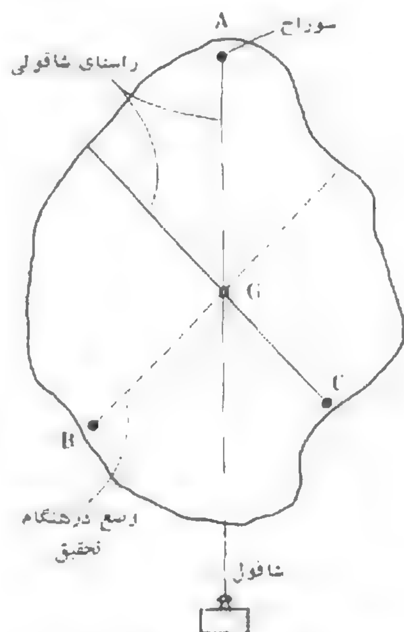
الف ــ استفاده از لبه تیز ــ گرانیگاه جسم نازك و بلندی مانند خط‌کش را می‌توان خیلی آسان با ترازمند کردن آن روی لبهٔ نازك و مستقیم یك تیغه معین کرد. همین روش را نیز می‌توان در تعیین گرانیگاه یك ورقهٔ نازك فلزی یا مقوا بکار برد. با این تفاوت که باید دو یا سه وضعیت را برای ترازمند نگاه داشتن آن انتخاب کرد. شکل ۵ــ۱۰ کاربرد این روش را در تعیین گرانیگاه یك صفحهٔ نازك نشان می‌دهد. صفحه روی لبهٔ تیز و مستقیم یك خط‌کش در دو وضعیت AB و CD ترازمند شده است و خطهای تراز AB و CD به وسیلهٔ مداد مشخص گردیده است. چون گرانیگاه G روی هر دو خط واقع است به ناچار در محل تلاقی این دو خط قرار دارد. برای بررسی درستی جای گرانیگاه باید صفحه را در وضع دیگری مانند EF روی لبهٔ خط‌کش ترازمند ساخت. راستای EF نیز از نقطهٔ G خواهد گذشت.

ب ــ استفاده از شاقول ــ با شاقول نیز می‌توان گرانیگاه را تعیین کرد. شاقول وزنه کوچك سنگینی است که به انتهای ریسمان سبکی آویخته شده است. در نظر بگیرید که می‌خواهیم گرانیگاه یك صفحهٔ مقوا را که شکل نامنظمی دارد تعیین کنیم. ابتدا سه سوراخ کوچك به فاصله‌های دلخواه در لبهٔ مقوا ایجاد



شکل ۵-۱۰ ـ روش تعیین گرانیگاه یك صفحهٔ نازك .

می‌کنیم و آن را از یکی از سوراخها به میخی می‌آویزیم به طوری که بتواندآزادانه نوسان کند (شکل ۵-۱۱) . وقتی‌که صفحهٔ مقوا به حال تعادل



شکل ۵-۱۱ ـ تعیین گرانیگاه با شاقول

ایستاد گرانیگاه آن زیر نقطهٔ آویز و در روی‌راستای قائمی که از این نقطه می‌گذرد قرار خواهد گرفت. این راستای قائم را می‌توان بایك‌شاقول مشخص کرد. برای این منظور شاقول مناسبی را به همین میخ می‌آویزیم وراستای‌آن را روی صفحهٔمقوا با یك مداد نشان می‌کنیم . سپس مقوا را به ترتیب از دو سوراخ دیگر می‌آویزیم و راستای شاقول را مانند حالت اول روی‌مقوا نشان می‌کنیم . همهٔ خطهایی که بدین‌ترتیب روی صفحهٔ مقوا در راستای شاقول رسم می‌شوند از یك نقطه خواهند گذشت و این‌نقطه گرانیگاه صفحهٔ مقواست . با این روش می‌توان پی‌برد که گرانیگاه یك ورقهٔ نازك مثلث شکل، در محل برخورد سه میانهٔ آن واقع است .

گرانیگاه چند جسم ــ گرانیگاه اجسام جامد همگنی که دارای مرکز تقارن هندسی‌هستند ، مانند کره ، مکعب ، حلقه یا ورقه‌هایی به شکل دایره ، مربع ، مستطیل که خیلی نازکند بر مرکز تقارن آنها منطبق است .

گرانیگاه اجسامی مانند استوانه ، مخروط و

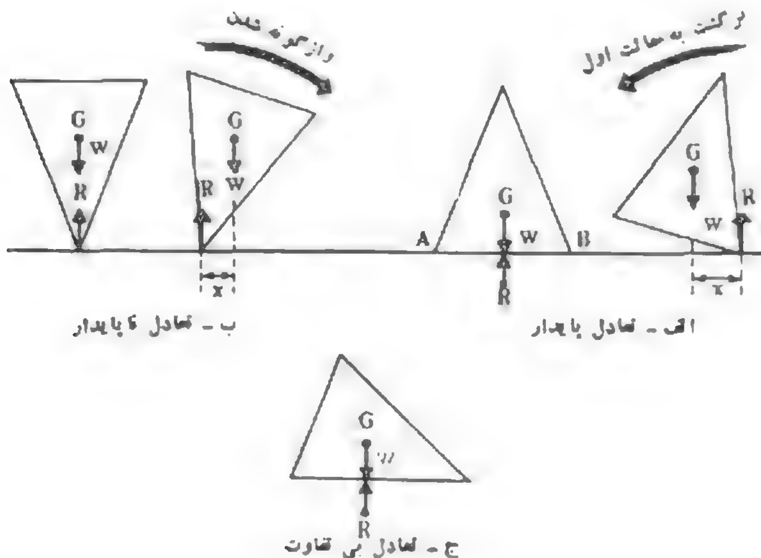
جرم منتظم که دارای محور تقارن هندسی هستند روی این محور واقع است . در پاره‌ای از اجسام مانند چهار پایه یا سه پایه ، گرانیگاه در جایی است که در آنجاماده نیست . تعیین گرانیگاه این‌گونه اجسام بـه آسانی تعیین گرانیگاه یـک ورقه نیست ومهارت و دقت بیشتری لازم دارد . باید این گونه اجسام را طوری آویخت که بتوان راستای شاقول رابابستن نخ مشخص کرد .

تعادل پایدار وناپایدار و بی‌تفاوت

مخروط چوبی را در نظربگیرید که از طرف قاعده‌اش روی سطح افقی میزی به حال تعادل قـرار دارد . مخروط را از وضعی که قرار گرفته است کج می‌کنیم . تا وقتی که راستای نیروی جاذبه وارد بر مخروط، یعنی راستای قائمی که از گرانیگاه G می‌گذرد، از قاعدهٔ مخروط بیرون نیفتد ، اگر مخروط را رها کنیم دوباره به‌جای خود برمی‌گردد، زیـرا نیروی جاذبـه ، یعنی W (وزن مخروط) ، که بـر گرانیگاه مخروط اثر می‌کند نسبت به‌لبهٔ آن که بر سطح میز تکیه دارد دارای گشتاور $W.x$ است و سبب می‌شود که مخروط به وضع تعادل اول خود برگردد. در این صورت می‌گوییم تعادل پایدار است.

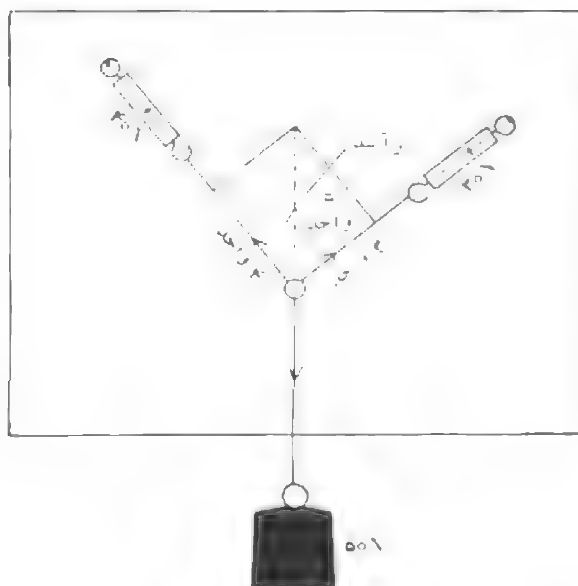
پرسش ۵—۸ ـ اگـر مخروط را بیشتر کج کنیم در چه صورت دیگـر به حال تعادل اولیهٔ خود بر نمی‌گردد و می‌افتد ؟

مخروط را نمی‌توان روی نوک آن نگه داشت. این کار درصورتی ممکن است که گرانیگاه مخروط درست روی راستای قائمی باشدکه از نـوک آن می‌گذرد . در این‌صورت نیروی وزن مخروط با نیروی عکس‌العمل سطح که مساوی وزن مخروط و درخلاف



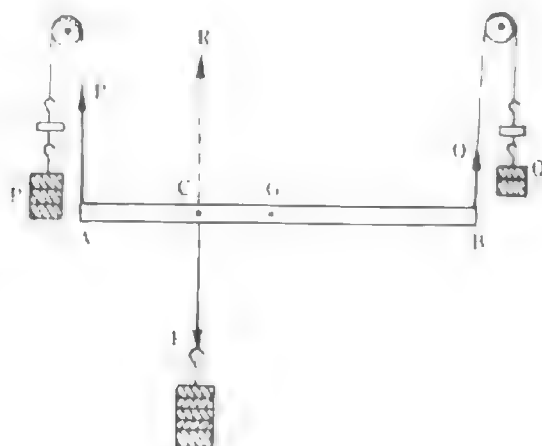
شکل ۵ـ۱۲ـ الف : تعادل پایدار ب : تعادل ناپایدار ج : تعادل بی تفاوت

بررسی کنید.



شکل ۵-۱۴ - تعیین برآیند نیروهای متقاطع به روش متوازی‌الاضلاع

۲) خط‌کش چوبی یا فلزی مانند AB را از دو سر A و B به وسیلهٔ دو ریسمان موازی که از روی دو قرقرهٔ سبک و روان عبور می‌دهید بیاویزید (شکل ۵-۱۵) و به وسیلهٔ دو وزنهٔ کوچک و مساوی که وزن آنها روی هم رفته برابر وزن خط‌کش است و آنها را به دو سر آزاد ریسمان می‌آویزید خط‌کش را ترازمند



شکل ۵-۱۵ - تعادل نیروهای موازی

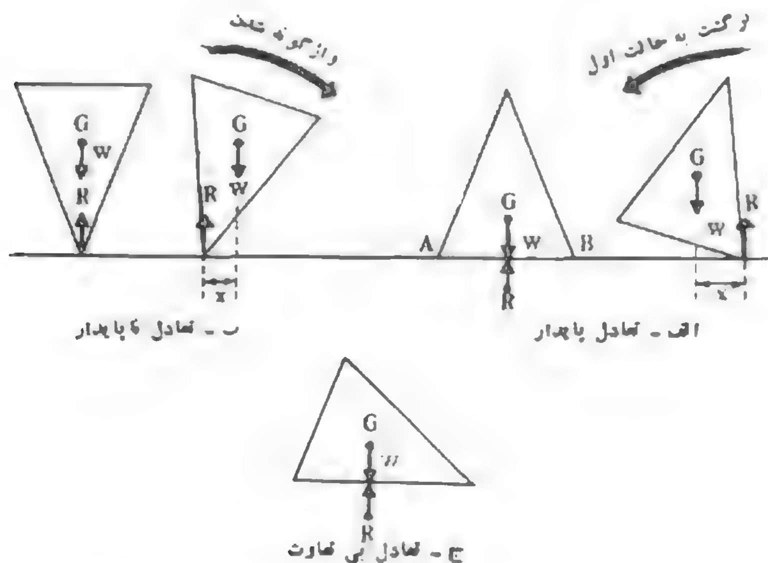
هرم منتظم که دارای محور تقارن هندسی هستند روی این محور واقع است. در پاره‌ای از اجسام مانند چهار پایه یا سه پایه، گرانیگاه در جایی است که در آنجاماده نیست. تعیین گرانیگاه این گونه اجسام به آسانی تعیین گرانیگاه یک ورقه نیست ومهارت و دقت بیشتری لازم دارد. باید این گونه اجسام را طوری آویخت که بتوان راستای شاقول رابابستن نخ مشخص کرد.

تعادل پایدار وناپایدار و بی‌تفاوت

مخروط چوبی را در نظر بگیرید که از طرف قاعده‌اش روی سطح افقی میزی به حال تعادل قرار دارد. مخروط را از وضعی که قرار گرفته است کج می‌کنیم. تا وقتی که راستای نیروی جاذبه وارد بر مخروط، یعنی راستای قائمی که از گرانیگاه G می‌گذرد، از قاعدهٔ مخروط بیرون نیفتد، اگر مخروط را رها کنیم دوباره به‌جای خود برمی‌گردد، زیرا نیروی جاذبه، یعنی W (وزن مخروط)، که بر گرانیگاه مخروط اثر می‌کند نسبت به‌لبهٔ آن که بر سطح میز تکیه دارد دارای گشتاور $W.x$ است و سبب می‌شود که مخروط به وضع تعادل اول خود برگردد. در این صورت می‌گوییم تعادل پایدار است.

پرسش ۵—۸ ــ اگر مخروط را بیشتر کج کنیم در چه صورت دیگر به حال تعادل اولیهٔ خود بر نمی‌گردد و می‌افتد؟

مخروط را نمی‌توان روی نوک آن نگه داشت. این کار درصورتی ممکن است که گرانیگاه مخروط درست روی راستای قائمی باشدکه از نوک آن می‌گذرد. در این‌صورت نیروی وزن مخروط با نیروی عکس‌العمل سطح که مساوی وزن مخروط و درخلاف



شکل ۵ـ۱۲ـ الف: تعادل پایدار ب: تعادل‌ناپایدار ج: تعادل بی تفاوت

جهت آن است خنثی می‌شود. اگر هم این حالت تعادل در یك لحظه پیدا شود کوچکترین تکان سطح میز یا کمترین جریان هوا سبب افتادن مخروط می‌گردد. زیرا وزن مخروط (W) نسبت به نوك آن گشتاوری پیدا می‌کند که آن را می‌غلتاند (شکل ۵-۱۲-ب). چنین تعادلی را تعادل ناپایدار گویند.

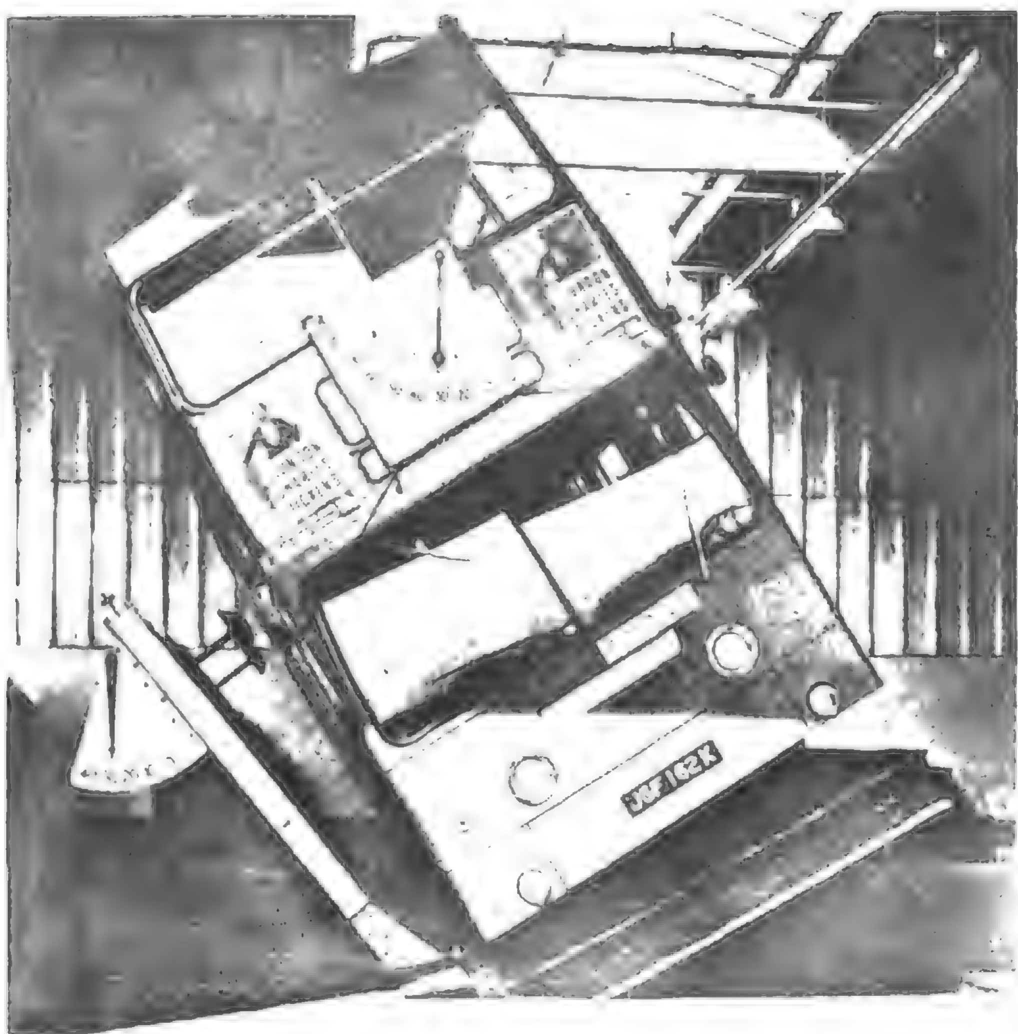
شکل ۵-۱۲-ج مخروط را نشان می‌دهد که از طرف بدنهٔ خود روی سطح افقی قرار دارد و در این حالت تکیه‌گاه آن یك خط راست است. اگر مخروط را بغلتانیم تا در وضع دیگری قرار گیرد باز هم به حال تعادل خواهد ایستاد. زیرا خط قائمی که از گرانیگاه آن می‌گذرد از نقطه‌ای از تکیه‌گاه که درست مانند وضع اول است خواهد گذشت. نیروی وزن (W) نسبت به تکیه‌گاه گشتاور ندارد و با نیروی عکس‌العمل سطح خنثی می‌شود. دراین‌صورت می‌گوییم تعادل بی‌تفاوت است. خلاصه آن‌که چگونگی تعادل یك جسم در روی زمین بستگی به وضع راستای نیروی جاذبهٔ وارد بر جسم نسبت به تکیه‌گاه آن دارد. اگر هنگام کج کردن جسم، راستای نیروی جاذبهٔ وارد بر آن (یعنی راستای قائمی که از گرانیگاه جسم می‌گذرد) ازدرون تکیه‌گاه خارج نشود تعادل جسم پایدار است و اگر راستای این نیرو بیرون تکیه‌گاه بیفتد تعادل ناپایدار است و اگر در وضع آن نسبت به سطح تکیه‌گاه تغییری پیدا نشود تعادل بی‌تفاوت است.

شکل ۵-۱۳ برج کج معروف پیزا را در ایتالیا نشان می‌دهد که با وجود کج بودن، با آن‌که چندصد سال از بنای آن می‌گذرد هنوز استوار برجای مانده‌است. چرا؟



شکل ۵-۱۳- برج کج پیزا در شهر پیزا واقع در کشور ایتالیا

شکل ۵-۱۴- یك اتوبوس دو طبقه را نشان می‌دهد که از نظر واژگون شدن مورد آزمایش قرار گرفته است. سکویی که اتوبوس روی آن قرار گرفته است با منگنهٔ آبی کار می‌کند و طنابهای کنترل‌کننده بین دیوار و بدنهٔ اتوبوس متصل است تا از واژگون شدن احتمالی آن جلوگیری شود. زاویهٔ شیب سکو به وسیلهٔ دو زاویه‌سنج که به کنار سکو و بدنهٔ اتوبوس نصب شده‌اند اندازه‌گیری می‌شود. هنگام آزمایش، تمام صندلیهای طبقهٔ بالا و صندلی راننده باوزنه‌های ۶۳/۵ کیلو گرم (به جای مسافران و راننده) اشغال می‌شود و یك وزنهٔ ۶۴/۵ کیلو گرم هم به جای بلیط‌فروش قرار داده می‌شود. اتوبوس دو طبقه با این شرایط باید تا ۲۸ درجه انحراف تعادل خود را حفظ کند.



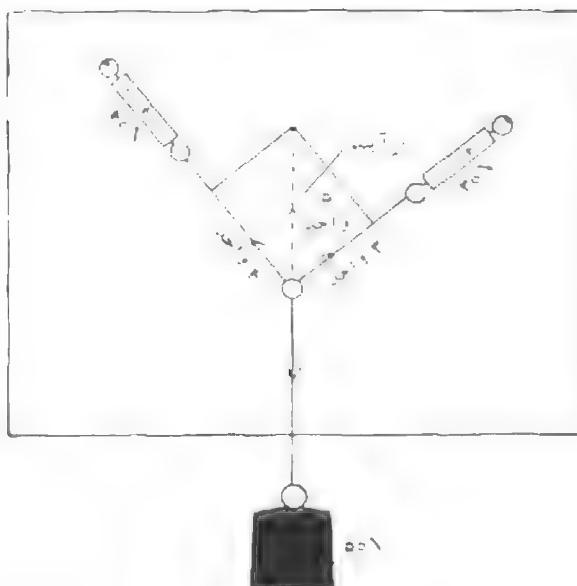
شکل ۵-۱۴- تعادل یک اتوبوس دو طبقه روی سطح شیبدار

پرسش ۵-۹- در چه صورت تعادل یک جسم که به‌نقطه‌ای آویخته شده پایدار است؟

خودتان آزمایش کنید

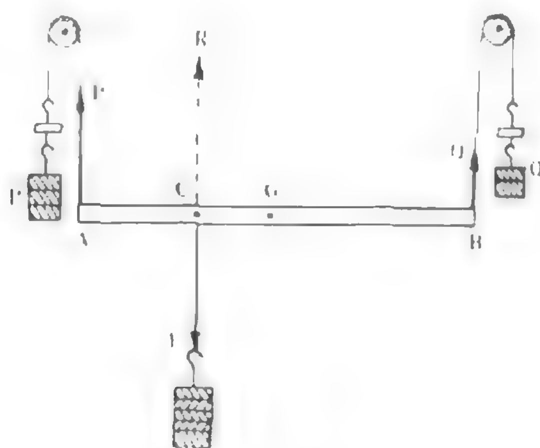
۱) آزمایش شکل ۵-۲ را با وزنه‌های دلخواه P و Q تکرار کنید و روش متوازی‌الاضلاع را در تعیین برآیند نیروهای P و Q به‌کار برید. درصورتی که نیروسنج در اختیار دارید می‌توانید به‌جای دو قرقره و وزنه‌های P و Q از دو نیروسنج طبق شکل ۵-۱۴ استفاده کنید و تجربهٔ نیروی R را در راستای نیروسنجها

بررسی کنید.



شکل ۵-۱۴ - تعیین برآیند نیروهای متقاطع به روش متوازی‌الاضلاع

۲) خط‌کش چوبی یا فلزی مانند AB را از دو سر A و B به وسیلهٔ دو ریسمان موازی که از روی دو قرقرهٔ سبک و روان عبور می‌دهید بیاویزید (شکل ۵-۱۵) و به وسیلهٔ دو وزنهٔ کوچک و مساوی که وزن آنها روی هم رفته برابر وزن خط‌کش است و آنها را به دو سر آزاد ریسمان می‌آویزید خط‌کش را ترازمند



شکل ۵-۱۵ - تعادل نیروهای موازی

سازید. سپس دو وزنهٔ مناسب P و Q به دوسر ریسمانها بیاویزید و با وزنهٔ دیگر E که آن را به نقطه‌ای از خط‌کش مانند C آویزان می‌کنید دوباره آن را ترازمند سازید و تحقیق کنید که :

$$P \cdot AC = Q \cdot BC \qquad (۲) \qquad\qquad E = P + Q \qquad (۱)$$

چرا برآیند دونیروی P و Q بهمان نقطهٔ C اثر می‌کند ؟

آیا می‌توان نیروی Q را برآیند دو نیروی دیگر P و E دانست ؟

می‌توانید به جای ریسمان و قرقره‌ها و وزنه‌های P و Q ، خط‌کش را از دوسر به دو نیروسنج یکسان و موازی بیاویزید ومؤلفه‌های نیروی وزن E را روی دونیروسنج بخوانید و رابطه‌های (۱) و (۲) را تحقیق کنید .

۳) ورقه‌های نازك فلزی یا مقوایی به شکلهای مختلف هندسی مانند دایره ، مربع ، مستطیل ، مثلث و ..... ببرید و گرانیگاه آنها را با روشهایی که آموخته‌اید پیدا کنید.

۴) خط‌کشی را از سوراخی که در یك سر آن است به میخی بیاویزید و وضع تعادل پایدار و ناپایدار آن را بررسی کنید. درچه صورت تعادل خط‌کش بی‌تفاوت خواهد شد ؟

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) چرا نیرو کمیت برداری است ؟

۲) «نیروی برآیند» یعنی چه ؟

۳) وقتی که می‌گوییم دو یا چند نیرو درحال تعادلند مفهوم آن چیست ؟

۴) اگر برجسمی سه نیروی متقارب اثر کند شرط تعادل این جسم چیست ؟

۵) روش متوازی‌الاضلاع را برای تعیین برآیند دو یا چند نیروی متقاطع شرح دهید.

۶) به وسیلهٔ رسم، اندازهٔ برآیند دو نیروی ۱۰۰ نیوتن و ۸۰ نیوتن را که بر یك نقطه اثر می‌کنند و زاویهٔ بین آنها ۶۰ درجه است معین کنید.

۷) از گشتاور یك نیرو نسبت به‌یك نقطه چه مفهومی را درمی‌یابید ؟

۸) شرایط تعادل یك جسم را وقتی که بر آن چند نیروی موازی اثر می‌کند شرح دهید.

۹) یك مترچوبی و یك وزنهٔ ۱۰۰ گرمی و مقداری نخ در اختیار دارید. چگونه می‌توانید بـا این وسایل وزن مترچوبی را تعیین کنید ؟

۱۰) معنای گرانیگاه یك جسم چیست؟ چگونه می‌توانید گرانیگاه یك عصا را تعیین کنید ؟

۱۱) گرانیگاه یك ورقهٔ نازك فلزی دوزنقه شکل را چگونه معین می‌کنید ؟

۱۲) تعادل پایدار و ناپایدار و بی‌تفاوت را تعریف‌کنید و برای هریك مثالی بیاورید.

۱۳) با رسم شکل و دلیل کافی توضیح دهید که چرا وقتی مخروط ناقصی را از طرف قاعدهٔ بزرگتر روی زمین می‌گذارید تعادل آن پایدارتر از هنگامی است که آن را از طرف قاعدهٔ کوچکترش روی زمین می‌گذارید.

۱۴ - توضیح دهید چرا برایند دو نیروی نامتساوی هیچ‌گاه نمی‌تواند صفر باشد.

این مسئله‌ها را حل کنید

۱) برآیند دو نیروی عمود بر هم ۱۰۰ نیوتن است اگر یکی از این دو نیرو با نیروی برآیند زاویه ۳۰ درجه بسازد مقدار دونیرو را حساب کنید.

۲) کرهٔ فولادی به وزن ۳۰ نیوتن درون ناوه‌ای به شکل V که دیوارده‌های آن صیقلی است قرار گرفته است. اگر هر یک از بدنه‌های ناوه با سطح افق زاویهٔ ۴۵ درجه بسازد نیرویی که ازکرهٔ فولادی بر بدنه ناوه وارد می‌شود چه اندازه است.

۳) شخصی یك غلتك به وزن ۷۰۰ نیوتن را روی سطح افقی زمین به‌کار می‌برد. این شخص روی دستهٔ غلتك که با سطح زمین زاویهٔ ۴۵ درجه می‌سازد نیروی ۲۰۰ نیوتن وارد می‌سازد. نیروی قائمی که غلتك را برزمین می‌فشارد در دو حالت زیر چیست؟

الف - وقتی‌که غلتك به‌جلو رانده می‌شود.

ب - وقتی که غلتك به‌عقب کشیده می‌شود.

۴) یك لولهٔ فلزی یکسان به‌طول ۵ متر و به‌وزن ۹ کیلوگرم نیرو به‌طور افقی به وسیلهٔ سیمهایی که در ۰/۵ متری و ۱/۵ متری دوسرش بسته شده‌اند آویزان است. نیروی‌کشش هر سیم را حساب‌کنید.

۵) میلهٔ یکسانی به‌طول یك متر و به‌وزن ۱۵۰ گرم نیرو به‌طور افقی روی لبه‌های تیز دوکاردك قرار گرفته است وفاصلهٔ کاردکها از دو سرمیله ۱۰سانتیمتراست. هرگاه وزنهٔ ۱۰۰ گرمی درفاصلهٔ ۱۰سانتیمتری وسط میله آویخته شود نیروی عکس‌العمل هریك ازکاردکها چقدراست؟

۶) تختهٔ الوار یکسانی به طول ۳ متر و به وزن ۲۰ کیلوگرم نیرو به طور افقی روی دو خرك A و B که به فاصلهٔ دو متر از یکدیگر واقع هستند قرارگرفته است و فاصلهٔ دوخرك از دو سر تخته یکی است. شخصی که وزنش ۸۰ کیلوگرم نیروست روی تختهٔ الوار بالای خرك A ایستاده است. نیروی عکس‌العمل هر یك از خرکها را حساب کنید. اگر این شخص در سر تختهٔ الوار که نزدیك خرك A است بایستد چه وزنه‌ای باید روی تخته، بالای خرك B گذارده شود تا تعادل پایدار بماند؟

پاسخ به پرسشهای متن‌کتاب

۱-۵) اگر هر سانتیمتررا نمایش ۳ نیوتن بگیریم این نیرو با برداری به‌طول ۴ سانتیمتر مطابق‌شکل ۱۵-۵ نمایش داده می‌شود.

$\longrightarrow$ ۱۲N

شکل ۵-۱۵

۱ cm نمایش ۳ نیوتن

۲-۵) صفر

۳-۵) $R = \sqrt{۴۰^۲+۳۰^۲} = \sqrt{۲۵۰۰} = ۵۰\,N$

۴-۵) ماشین را برسطح زمین می‌فشارد.

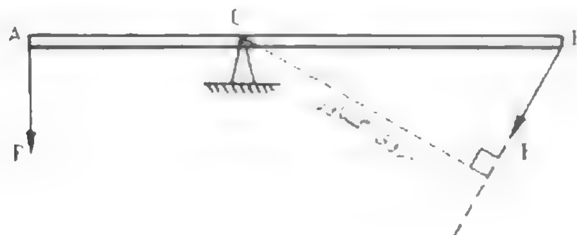
۵-۵) مؤلفهٔ P در مثلث قائم‌الزاویهٔ ABC (شکل ۵-۵) ضلع مقابل به‌زاویهٔ ۳۰ درجه می‌شود که اندازهٔ آن برابر نصف وتر است. چون وتر این مثلث نمایش نیروی برآیند R، است اگر $R=۱۵۰$ نیوتن باشد $P=\frac{۱۵۰}{۲} = ۷۵N$ خواهد بود.

مؤلفهٔ Q در مثلث قائم‌الزاویهٔ ABC ضلع‌مقابل به‌زاویهٔ ۶۰ درجه است‌که مقدار آن $\frac{\sqrt{۳}}{۲}$ برابر وتر است یعنی:

$$Q = \frac{۱۵۰\sqrt{۳}}{۲} = ۷۵\sqrt{۳} \simeq ۱۳۰N$$

۶-۵) نه. زیرا اندازهٔ گشتاورها مساوی و جهت آنها مخالف یکدیگر است.

۷-۵) بازوی این نیرو برابر است با طول عمودی‌که از تکیه‌گاه (یا محور) بر راستای نیرو وارد می‌شود (مطابق شکل ۵-۱۶).



شکل ۵-۱۶

۸-۵) مخروط در صورتی به حال تعادل اولیهٔ خود بر نمی‌گردد که راستای نیروی جاذبه (یعنی راستای شاقولی که از گرانیگاه آن می‌گذرد) خارج از تکیه‌گاه آن واقع شود.

۹-۵) درصورتی که گرانیگاه جسم زیر نقطهٔ آویز و روی راستای قائمی‌باشد که از آویز گاه می‌گذرد.

۶

قوانین نیوتن در بارهٔ حرکت

در زمان ارسطو فیلسوف یونانی (۳۲۲-۳۸۴ قبل از میلاد) این‌طور فکر می‌کردند که وقتی به یك جسم نیروی ثابتی وارد می‌شود آن جسم با سرعت ثابت حرکت می‌کند و اگر نیرو نباشد جسم ساکن می‌ماند. صدها سال بعد، گالیله اظهار داشت که هرسرعتی که به یك جسم داده شودتا وقتی که‌عاملی سبب‌تند شدن یا کندشدن حرکت آن نگردد آن‌سرعت محفوظ خواهد ماند. درسال ۱۶۸۴ میلادی نیوتن کتابی به‌زبان لاتینی (چنان که مرسوم آن زمان بود) نوشت. ترجمهٔ نام این کتاب «اصول ریاضی فلسفهٔ طبیعت» است که به اختصار آن را کتاب اصول نیوتن می‌گوییم و یکی از شاهکارهای بزرگ علمی است که تا کنون نوشته شده است. درآن کتاب به‌طور کلی در بارهٔ انواع حرکت اجسام به ویژه حرکت سیاره‌ها و سایر اجرام آسمانی بحث شده و درفصل اول آن سه قانون اساسی در بارهٔ حرکت بیان گردیده است. شما قبلاً با قانون اول نیوتن (دربخش‌نیرو) کمی آشنا شده‌اید. در این بخش قوانین نیوتن وکاربرد آنها را با شرح بیشتری خواهید آموخت.

قانون اول نیوتن درحرکت

اگر برجسمی نیرو وارد نشود یااین‌که برآیند نیروهای وارد برآن صفرباشد درصورتی‌که جسم ساکن است همواره ساکن می‌ماند و در صورتی که در حال حرکت است باتندی ثابت در امتداد خط راست به حرکت خود ادامه می‌دهد.

بدیهی است اجسامی که در حال سکون هستند خود به خود به حرکت در نمی‌آیند. اگر جسمی را در جایی قرار دهیم انتظار داریم که تا برآن نیرویی وارد نشود درجای خود بماند. با آزمایشهای جالبی می‌توانید این موضوع را بررسی کنید: چند سکهٔ فلزی یا چند مهرهٔ چوبی را روی هم بچینید و با یك تیغهٔ نازك فلزی یایك خط‌کش خیلی نازك ضربهٔ افقی و سریعی به سکه یا مهرهٔ زیرین وارد سازید. سکه یا مهره‌ای که ضربه می‌بیند به خارج پرتاب می‌شود در صورتی که بقیهٔ آنها برجای خود باقی می‌مانند. این آزمایش را می‌توانید به طریق دیگری انجام دهید: یك سکهٔ پنج ریالی یا ده ریالی را روی قطعه



شکل ۶-۱. مقوا که ضربه می‌بیند به خارج پرتاب می‌شود ولی سکه که ضربه نمی‌بیند برجای خود می‌خواهد بماند ولی در اثر سنگینی خود درون بطری یا استکان می‌افتد.

مقوای صافی مانند کارت ویزیت بگذارید و آن را روی دهانهٔ یك بطری دهان گشاد یا یك استکان (شکل ۶-۱) قرار دهید به‌طوری که سکهٔ مقابل دهانهٔ بطری یا استکان واقع شود سپس با انگشت ضربه‌ای به قطعهٔ مقوا وارد سازید. مقوا به خارج پرتاب می‌شود و سکه به درون بطری یا استکان می‌افتد. برای این که آزمایش با موفقیت انجام گیرد ضربهٔ انگشت را به طور افقی برمقوا وارد سازید.

کمتر اتفاق می‌افتد که جسمی درحال حرکت یکنواخت برامتداد یك خط راست، بدون آن که متوقف شود همواره در همان حال باقی بماند. علت این است که ما هنوز وسیلهٔ کافی برای حذف نیروهای خارجی در دست نداریم.

ـ شخصی که دوچرخه‌ای را روی جادهٔ افقی می‌راند وقتی که از رکاب زدن باز ایستد دوچرخه آنا متوقف نمی‌شود بلکه به جلو رفتن خود ادامه می‌دهد ولی به علت وجود اصطکاك و مقاومت هوا حرکت آن به تدریج کند می‌شود تا بایستد.

پرسش ۶-۱ ـ دانه‌های باران در هوای آرام معمولاً با سرعت ثابت در امتداد قائم فرو می‌ریزند. چرا؟

ـ اتوبوسی که درحال حرکت است اگر ناگهان ترمز شود مسافران آن به طرف جلو پرتاب می‌شوند زیرا نیروی ترمز براتوبوس اثر می‌کند نه برمسافران و آنان بنابر قانون اول نیوتن، به حرکت خود در امتداد خط راست ادامه می‌دهند.

پرسش ۶-۲ ـ با استفاده ازاین قانون توضیح دهید چرا وقتی که اتوبوسی در پیچ یك جاده می‌پیچد مسافران آن به طرف خارج پیچ کشیده می‌شوند؟

ـ وقتی که گلوله‌ای از دهانهٔ تفنگ خارج می‌شود، حرکت آن با مقاومت هوا و کشش جاذبهٔ زمین رو به‌رو می‌گردد و دیر یا زود به زمین برمی‌گردد. ولی منطقی است که فرض کنیم اگر مقاومت هوا و نیروی جاذبه می‌توانستند حذف شوند گلوله با سرعت ثابت در امتداد خط راست، همیشه به حرکت خود ادامه می‌داد.

ـ حرکت برروی بالشی از هوا اصطکاك بین دوجامد را از میان برمی‌دارد ولی نیروی اصطکاك بـه کلی حذف نمی‌شود زیرا اصطکاك بین جسم و مولکولهای هوا باقی می‌ماند.

ـ در اوایل قرن هفدهم میلادی کپلر[1] ستاره‌شناس

1ـ Kepler

مشهور آلمانی نشان داد که سیارات روی مدارهای بیضی‌شکل به دور خورشید می‌چرخند اما نتوانست علت آن را به درستی توضیح دهد. شرح کامل و قانع کنندهٔ این گونه حرکات را نیوتن به کمک قانون اول خود و «قانون جاذبهٔ عمومی»[1] بیان کرد. نیوتن متذکر شد که سیارات بدین علت روی مدار منحنی شکل به دور خورشید حرکت می‌کنند که از طرف خورشید با نیرویی کشیده می‌شوند و چون نیرویی که خورشید بر آنها وارد می‌سازد نیروی مقاوم و کند کننده نیست حرکتشان کند نمی‌شود. نیروی کند کنندهٔ دیگری، نظیر مقاومت هوا، نیز وجود ندارد زیرا سیارات در فضای خالی حرکت می‌کنند و جو آنها با خودشان حرکت می‌نماید. اگر بنا به فرض نیروی جاذبهٔ خورشید ناگهان برداشته شود سیاره در امتداد خط راستی که مماس برمدار حرکت آن است به حرکت خود ادامه خواهد داد. ماهواره‌ها نیز با پیروی از همین قانون به دور زمین می‌چرخند و نیرویی که آنها را در مدار حرکت خود به دور زمین نگه می‌دارد جاذبهٔ زمین است.

بنابراین تجسم این مطلب مهم است که: همین که جسمی با سرعت ثابت در امتداد خط راستی حرکت کند اگر نیروهای خارجی که سبب کندشدن حرکت آن می‌شوند وجود نداشته باشد نیرویی نیز برای ادامهٔ حرکت آن لازم نیست. تمایل جسم را به این که در حال سکون بماند، یا اگر حرکت دارد در حال حرکت روی خط راست با سرعت ثابت باقی بماند ماند[2] یا اینرسی[3] می‌نامند و به همین دلیل قانون اول نیوتن را قانون اینرسی نیز می‌گویند.

اینك این پرسش را مطرح می‌کنیم: اگر بر جسمی نیرو اثر کند چه می‌شود؟ پیش از آن که به این پرسش پاسخ دهیم لازم است به تعریف یك کمیت برداری دیگری به نام اندازهٔ حرکت بپردازیم.

اندازهٔ حرکت

یك بارکش وقتی که پر از بار است نسبت به وقتی که خالی است نیروی بیشتری لازم دارد تا به حرکت درآید. همچنین اگر دو اتومبیل یکی سنگین و دیگری سبك با یك تندی حرکت کنند برای متوقف ساختن اتومبیل سنگین‌تر نیروی ترمز قویتری لازم است. می‌گوییم اتومبیل سنگین‌تر نسبت به اتومبیل سبکتر دارای اندازهٔ حرکت بیشتری است.

حاصل ضرب جرم یك جسم در تندی حرکت آن را اندازهٔ حرکت آن جسم می‌نامند. واحد اندازهٔ حرکت در دستگاه واحدهای بین‌المللی (SI)

۱ــ قانون جاذبهٔ عمومی نیوتن دربارهٔ حرکت سیارات به دور خورشید چنین بیان می‌شود:
نیرویی که از طرف خورشید بریك سیاره مانند زمین (یا از سیاره برخورشید) وارد می‌شود متناسب با حاصل ضرب جرمهای آنهاست و نسبت عکس با مجذور فاصلهٔ آنها از یکدیگر دارد. این قانون دربارهٔ اشیای مادی و ذرات عمومیت دارد و شما در سالهای بعد شرح کامل آن را خواهید آموخت.

۲ــ کلمهٔ ماند از ماندن مشتق شده است.

۳ــ اینرسی یك جسم در واقع مقاومتی است که جسم در مقابل تغییر سرعت از خود نشان می‌دهد.

کیلوگرم × متر بر ثانیه است که با علامت اختصاری kg m/s نمایش داده می‌شود.

وقتی که بر دو جسم یکی سبک و دیگری سنگین در مدت زمان یکسان دو نیروی مساوی اثر می‌کند جسم سبکتر با سرعتی بیشتر از سرعت جسم سنگین‌تر حرکت می‌نماید ولی اندازهٔ حرکت هر دو جسم یکی است. بستگی مهم بین نیرو و اندازهٔ حرکت توسط نیوتن کشف شد و تحت عنوان قانون دوم حرکت بیان گردید.

قانون دوم نیوتن در حرکت

تغییر اندازهٔ حرکت یک جسم در واحد زمان متناسب است با نیرویی که برجسم وارد می‌شود و در جهتی است که نیرو برجسم اثر می‌کند.

مثلاً اگر نیروی F برجسمی به‌جرم m در زمان t اثر کند و تندی‌آن از V_1 به V_2 تغییر نماید اندازهٔ حرکت آن در مدت t از mV_1 بـه mV_2 می‌رسد و تغییر اندازهٔ حرکت آن برابر است با $mV_2 - mV_1$. میزان تغییر آن در واحد زمان (در هر ثانیه) برابر است با: $\frac{mV_2 - mV_1}{t}$. طبق قانون دوم نیوتن این تغییر اندازهٔ حرکت متناسب با نیرویی است که سبب آن شده است و این مطلب را به صورت رابطهٔ ریاضی چنین نمایش می‌دهیم:

$$F \propto \frac{mV_2 - mV_1}{t}$$

یا (پس از فاکتورگیری از m)

$$F \propto \frac{m(V_2 - V_1)}{t}$$

پیش از این دیدیم که تغییر تندی در واحد زمان شتاب نامیده می‌شود.

یعنی: $a = \text{شتاب} = \frac{\text{تغییر تندی}}{\text{زمان}} = \frac{V_2 - V_1}{t}$

بنابراین $F \propto ma$

یعنی نیرو متناسب است با حاصل ضرب جرم در شتاب.

یا $F = kma$

پرسش ۶-۳- اگر V_2 کوچکتر از V_1 باشد $V_2 - V_1$ منفی و a نیز منفی است. این علامت منفی را چگونه تعبیر می‌کنید؟

k ضریب تناسب است و می‌توانیم واحدها را طوری انتخاب کنیم که k برابر یک باشد.

می‌دانید واحد نیرو در دستگاه بین‌المللی واحدها نیوتن نام دارد و نیوتن بنا به‌تعریف نیرویی است که اگر به جرم یک کیلوگرم اثر کند به‌آن شتاب یک متر بر ثانیه بر ثانیه بدهد.

بنابراین اگر m برحسب کیلوگرم و a برحسب متر بر ثانیه بر ثانیه و F برحسب نیوتن انتخاب شود $k = 1$ خواهد شد و داریم.

$$\underset{(N)}{F} = \underset{(kg)}{m} \times \underset{(m/s^2)}{a}$$

اینک باتوجه به قانون دوم نیوتن می‌توانید به آسانی به این پرسش پاسخ دهید:

اگر برجسمی نیرو اثر کند چه می‌شود؟

اگر برجسمی نیرویی اثر کند این نیرو سبب می‌شود که تندی و در نتیجه اندازهٔ حرکت جسم تغییر نماید و جسم در جهت نیرو شتابی پیدا کند که اندازهٔ آن متناسب با نیروست و اگر نیرو ثابت بماند شتاب نیز ثابت می‌ماند (تحقیق تجربی این قانون را در سالهای بعد خواهید آموخت)

پرسش ۶-۴- اگر بر دو جسم که جرم آنها

متفاوت است. دونیروی مساوی اثر کند شتاب کدام یك از این دوجسم بیشتر است ؟ چرا ؟

پرسش ۶-۵- پیش از این، رابطهٔ بین وزن و جرم را به‌صورت $W = mg$ دیده‌اید. چگونه این رابطه را بنابر قانون دوم نیوتن توجیه می‌کنید؟

قانون سوم نیوتن درحرکت

قانون دوم نیوتن فقط در بارهٔ اثر نیرو بریك جسم بحث می‌کند وچنان‌که دیدید، نیرو سبب می‌شود که اندازهٔ حرکت جسم تغییر کند.

اینك این پرسش پیش می‌آید که اگر دوجسم بریکدیگر نیرو وارد سازند ، یا به‌عبارت دیگر اگر دو جسم برهم اثر متقابل داشته باشند چه می‌شود . به این پرسش قانون سوم نیوتن پاسخ می‌دهد:

وقتی‌که جسمی‌برجسم دیگر نیرویی‌واردمی‌سازد جسم دوم نیز برجسم اول نیرویی به همان اندازه ولی در جهت مخالف آن وارد می‌آورد . این قانون را قانون عمل و عکس‌العمل نیز می‌گویندکه چنین بیان می‌شود : برای هرعملی ، عکس‌العملی است مساوی با آن و در خلاف جهت آن. در اینجا عمل به معنی نیرویی است که جسم اول برجسم دوم وارد می‌کند و عکس‌العمل نیرویی است که جسم دوم برجسم اول وارد می‌سازد. مثالهای زیرپاره‌ای از کار بردهای این قانون را نشان می‌دهند.

مثال ۱ـ وقتی‌که گلوله‌ای از تفنگ پرتاب می‌شود ، در مدتی‌که گلوله از لوله بیرون می‌آید بر روی‌تفنگ و گلوله نیروهای مساوی ومخالف جهت یکدیگر اثر می‌کند . به همین جهت موقعی‌که گلوله از لولهٔ تفنگ خارج می‌گردد تفنگ به عقب رانده می‌شود. چون هم بر گلوله وهم بر تفنگ در یك زمان دو نیروی مساوی در جهتهای مخالف اثر می‌کنند ، بنابر قانون دوم نیوتن اندازهٔ حرکت آنها نیز با هم برابر و مخالف جهت یکدیگر است . یعنی:

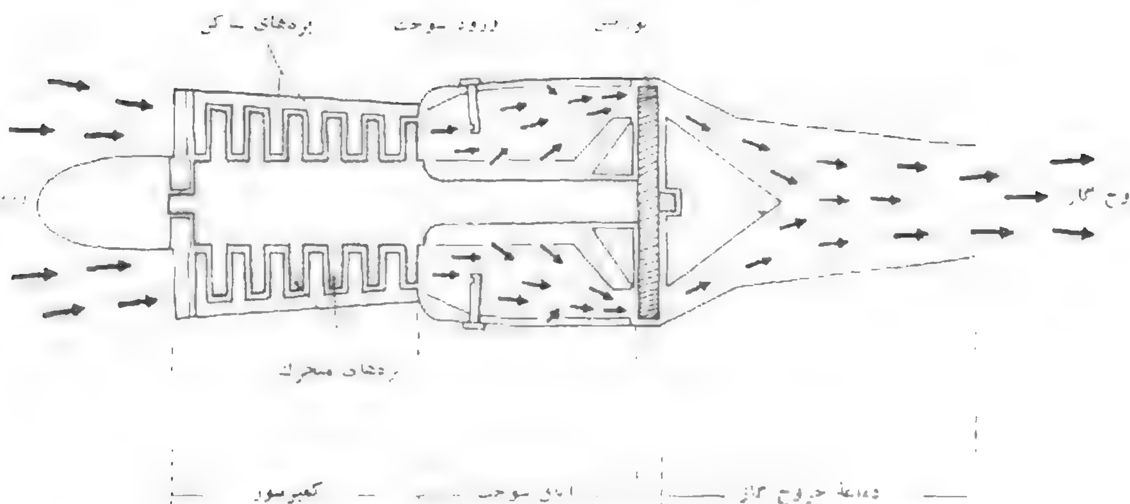
تندی عقب زدن تفنگ × جرم تفنگ = تندی خروج گلوله × جرم گلوله

می‌دانید وقتی دو کمیت برداری با هم مساوی ولی درجهت مخالف یکدیگر باشند مجموعشان برابر صفر است . در این مثال اندازهٔ حرکتهای گلوله و تفنگ با هم برابر و در خلاف جهت یکدیگرند . بنابراین مجموع آنها صفر است . این خاصیت را به صورت قانون مهم دیگری‌که از دو قانون دوم و سوم نیوتن نتیجه می‌شود به نام قانون بقای اندازهٔ حرکت چنین بیان می‌کنند:

وقتی‌که دو یاچند جسم برهم اثر می‌کنند اندازهٔ حرکت آنها ثابت می‌ماند به شرط آن که نیرویی از خارج برآنها وارد نشود.

پرسش ۶-۶ـ اگر درون یك آسانسور روی باسکولی ایستاده باشید وآسانسور با حرکت شتابدار بالا برود باسکول وزن شما را بیشتر از مقداری که هست نشان می‌دهد . چرا ؟

مثال ۲ـ می‌دانید در موتورهای جت هواپیما که طرح ساده‌ای از آن درشکل ۶-۲نمایش داده شده است هوایی که برای سوختن سوخت به کار می‌رود متراکم شده و با سوخت مخلوط می‌گردد و وارد اتاق سوخت می‌شود و درآنجا این مخلوط می‌سوزد . گازهای داغ حاصل از این سوختن از میان توربین کوچکی که در محل خروج دود قرار دارد با سرعت زیاد به بیرون رانده می‌شود و هنگام خروج، فشار و



شکل ۶-۲- طرح ساده‌ای از موتور جت

ضربهٔ مداوم شدیدی برهواپیما وارد می‌سازد که مساوی فشار و ضربهٔ خروج گاز ولی مخالف جهت آن است و در اثر همین نیروی عکس‌العمل، هواپیما به‌جلو رانده می‌شود. حرکت موشکها نیز برهمین اساس است. تفاوتی که موشکهای فضاپیما با موتورهای جت دارند این است که در موشکها، اکسیژن لازم برای سوخت به صورت مایع یا مواد اکسیژن‌زا درخود موشك جای داده شده است.

مثال۳- موقعی که روی سطح زمین راه می‌رویم با کف پای خود به‌زمین به‌طرف عقب زور مـی‌آوریم وزمین نیز رو به‌جلو به مـا زور مـی‌آورد. نیروی عکس‌العمل زمین به طرف جلو، سبب می‌شود که ما به‌جلو حرکت کنیم و در همین موقع زمین نیز در اثر نیروی وارد از کف پای‌ما، به‌طرف عقب حرکت می‌کند. اماچون جرم زمین در مقابل جرم بدن مـا بسیار بـزرگ است حـرکت آن آشکار نیست امـا هنگامی که در ساحل دریاچه از درون یك قایق سبك می‌خواهیم پا به ساحل بگذاریم قایق بـه عقب رانده می‌شود.

پرسش ۶-۷ - برکتابی که روی میز قرار دارد نیروهای عمل و عکس‌العمل چگونه اثر می‌کنند؟

خودتان آزمایش کنید

۱) یك برگ کاغذ را روی میز بگذارید وچند سکه را روی‌آن قراردهید وبرگ کاغذ را با سرعت به طورافقی بکشید. سکه‌هابدون آن‌که حرکت محسوسی بکنند در جای خود می‌مانند وکاغذ از زیرآنها کشیده می‌شود. اگر کاغذ را به‌آرامی بکشید سکه‌ها با آن کشیده می‌شوند. علت را توضیح دهید.

۲) دو نیروسنج را بردارید و سر یکی از آنها را با قلابی به میز یا جای مناسب دیگر ببندید و نیروسنج دیگر را به اولی وصل کنید و سر آزاد نیروسنج دوم را بگیرید و بکشید. خواهید دید که هردو نیروسنج یك مقدار نیرو را نشان می‌دهند. علت را توضیح دهید

۳) بادکنکی را پر از بادکنید ودهانهٔ آن را با دست ببندید و آن را طوری نگه‌دارید که دهانه‌اش رو به پایین باشد. سپس آن را رها سازید. باد به شدت از دهانهٔ آن خارج می‌شود و بادکنك با سرعت به طرف بالا حرکت می‌نماید تا آن‌که تمام بادش خالی شود. این حرکت برپایهٔ کدام قانون نیوتن است؟

۴) بادکنك را پر از بادکنید و دهانه‌اش را ببندید و آن را روی چهارچرخهٔ کوچکی که معمولاً در آزمایشگاه یافت می‌شود طوری نصب کنید که اگر دهانه‌اش را بازکنید باد در راستای افقی خارج شود. سپس دهانهٔ آن را بازکنید. باد خارج می‌شود و چهارچرخه درخلاف جهت خروج باد حرکت می‌نماید. چرا؟

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) قانون اول نیوتن را شرح دهید.

۲) کدام خاصیت ماده است که سبب می‌شود یك جسم درمقابل تغییر تندی ازخود مقاومت نشان دهد؟

۳) مفهوم اندازهٔ حرکت چیست؟

۴) قانون دوم نیوتن را بیان کنید. چگونه ازاین قانون برای تعریف واحد نیرو استفاده می‌شود؟

۵) نیوتن را تعریف کنید.

۶) مثالی برای حرکت یك جسم با شتاب ثابت بیاورید.

۷) کدام یك از مطالب زیر درمورد جسمی که برسطح زمین قراردارد درست است؟

۱) نیروی جاذبهٔ زمین برروی جرم یك کیلوگرم، یك نیوتن است.

۲) نیروی جاذبهٔ زمین برروی جرم یك گرم، یك نیوتن است.

۳) نیروی جاذبهٔ زمین برروی جرم یك کیلوگرم، تقریباً ده نیوتن است.

۴) نیروی جاذبهٔ زمین بر روی جرم ده کیلوگرم تقریباً یك نیوتن است.

۸) آیا می‌توان یك سفینهٔ فضایی ملخ‌دار (مانند هلیکوپتر) را برای مسافرت به کرهٔ ماه به‌کار برد؟ جواب خود را با دلیل بیان کنید.

۹) در نظر بگیرید که روی یك باسکول درون آسانسوری ایستاده‌اید. توضیح دهید در حالتهای زیر چه تغییری دراندازهٔ وزن شما که روی صفحهٔ مدرج باسکول خوانده می‌شود حاصل می‌گردد؟

الف ــ آسانسورکه با سرعت ثابت درحال بالا رفتن است ناگهان متوقف شود.

ب ــ آسانسورکه ساکن است ناگهان روبه بالا حرکت کند.

ج ــ آسانسور که ساکن است ناگهان رو به پایین حرکت کند.

۱۰) قانون بقای اندازهٔ حرکت را بیان کنید و توضیح دهید چرا تندی عقب زدن یك تفنگ خیلی کمتر از تندی پرتاب گلوله از تفنگ است.

۱۱) نام نیرویی که یك موتور جت یا یك موشك را به جلو می‌راند چیست؟ مبدأ تولید این نیرو چیست؟

۱۲) یك وزنه به وسیلهٔ ریسمان محکمی به پایه‌ای آویخته شده است. چه نیرویی رو به پایین بر وزنه اثر می‌کند؟ اگر این نیرو را «نیروی عمل» بگیرید عکس‌العمل آن چه نیرویی خواهد بود؟

این مسئله‌ها را حل کنید

۱) هرگاه نیرویی برابر 12N در مدت 5s بر جسمی به جرم 2kg اثر کند تغییر اندازهٔ حرکت آن جسم چند kgm/s خواهد بود؟

۲) جرم اتومبیلی با راننده‌اش 1800 kg است. اگر این اتومبیل با سرعت 5 m/s در حادهٔ راستی در حرکت باشد اندازهٔ حرکت آن چقدر است؟ در چه مدت باید بر آن نیروی 1350 N اثر کند تا پس از شروع حرکت، این اندازهٔ حرکت را پیدا کند؟

۳) چه نیرویی بر حسب نیوتن باید بر جسمی به جرم 5 kg اثر کند تا به آن شتابی برابر $9/8 m/s^2$ بدهد؟

۴) دو پسر یکی به جرم 45 kg و دیگری به جرم 60 kg روی دو چرخ دستی یکسان که جرم هر یك 10kg است بر روی سطح افقی بدون اصطکاکی مقابل هم نشسته‌اند و هر یك از آن دو یك سر طنابی را که بین آنان کشیده شده است در دست گرفته است. پسر سبکتر طناب را می‌کشد و با سرعت 2 m/s به حرکت در می‌آید. در این صورت پسر سنگین‌تر با چه سرعتی شروع به حرکت خواهد کرد؟

۵) یك بادکنك پر از باد محتوی 2g هواست که پس از باز شدن دهانه‌اش با سرعت 4/0m/s به طور منظم در 2/5s خالی می‌شود. چه نیرویی در اثر خروج باد در این مدت بر بادکنك وارد می‌شود؟

۶ ــ چه نیروی اصطکاکی لازم است تا واگنی به جرم 50 تن را که با سرعت 8/5 متر بر ثانیه روی ریل افقی در حرکت است در مدت 15 ثانیه متوقف کند؟

۷ ــ نیروی افقی برابر 100 نیوتن بر صندوقی به جرم 50 kg که روی کف اطاق قرار دارد وارد می‌شود. ضریب اصطکاك بین صندوق و کف اطاق 0/1 است.

الف ــ صندوق در اثر این نیرو چه شتابی می‌گیرد؟

ب ــ چه زمانی لازم است تا صندوق پس از شروع حرکت به اندازهٔ یك متر جابجا شود؟

پاسخ به پرسشهای متن کتاب

۶ـ۱) نیروهایی که هنگام ریزش باران بر هر دانهٔ باران وارد می‌شود عبارتند از وزن دانهٔ باران رو به پایین و مقاومت هوا رو به بالا. وقتی که نیروی مقاومت هوا برابر وزن دانهٔ باران بشود برآیند نیروهای وارد بر آن صفر می‌شود و بنا به قانون اول نیوتن حرکت آن یکنواخت می‌گردد.

۶ـ۲) سرنشین درون اتومبیل می‌خواهد بنا به قانون اینرسی درامتداد خط راست به‌حرکت خود ادامه دهد. به‌همین جهت به طرف خارج پیچ جاده کشیده می‌شود، ولی بدنه یا صندلی اتومبیل مانع پرت شدن او می‌گردد.

۶ـ۳) علامت منفی شتاب نمایش این است که اندازهٔ تندی رفته‌رفته کم می‌شود و حرکت کند می‌گردد تا متحرک متوقف شود. بدیهی است در این حالت نیروی وارد بر جسم برخلاف جهت حرکت آن است.

۶ـ۴) جسمی که جرمش بیشتر است شتاب کمتری پیدا می‌کند زیرا شتاب جسم با جرم آن نسبت عکس دارد.

۶ـ۵) رابطهٔ $w = mg$ همان رابطهٔ $F = ma$ است که به جای F، نیروی وزن جسم (یعنی w) و به‌جای شتاب، شتاب افتادن جسم (یعنی g) قرار داده شده است.

۶ـ۶) زیرا در این حالت نیرویی که از کف آسانسور رو به بالا بر شخص وارد می‌شود بزرگتر از وزن اوست وطبق قانون عمل و عکس‌العمل، نیرویی هم که شخص بر کف آسانسور (ودر نتیجه بر صفحهٔ باسکول) وارد می‌سازد بیش از وزن اوست.

۶ـ۷) نیروی عمل، وزن کتاب است که بر میز تحمیل می‌شود و عکس‌العمل آن نیروی برگردانندهٔ الاستیک حاصل از تغییر شکل میز در اثر وزن کتاب است که با آن تعادل حاصل می‌کند.



کار و انرژی

در گفتگوهای روزانه کلمهٔ «کار» تقریباً به یک نوع فعالیت بدنی یا فکری نسبت داده می‌شود ولی در دانش فیزیک، کار معنای ویژه‌ای دارد و وقتی انجام می‌گیرد که نیرویی سبب حرکت شود. مثلاً لوکوموتیوی که یک ترن را می‌کشد کار انجام می‌دهد. کارگری که آجرها را بالای چوب‌بست می‌برد کار انجام می‌دهد...

آیا اتفاق افتاده است که به تماشای جرثقالی که مثلاً یک تیر آهنی را برای گذاردن بر روی پیهای بلند، به بالای ساختمانی می‌برد ایستاده باشید؟ جرثقال نیروی زیادی را برای بلند کردن تیر آهنی که خیلی سنگین است به کار می‌برد و انرژی زیادی را برای انجام این کار مصرف می‌نماید. این انرژی از کجا و چگونه تأمین می‌شود؟ پیش از آن که به بررسی این پرسش و پاسخ دادن به آن بپردازید باید مطمئن شوید که مفهوم فیزیکی کلمات کار و انرژی و توان را به درستی می‌دانید. شما در سالهای پیش با مفهوم این کلمات آشنا شده‌اید. در این بخش مطلب را با دیدی که جنبهٔ علمی بیشتری دارد دنبال خواهید کرد.

کار

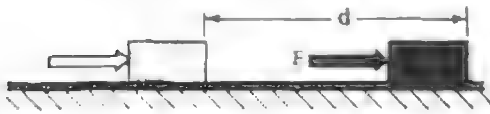
در بخش ۶ دیدید که وقتی بر جسمی نیرو وارد شود آن جسم بنا به قانون اول نیوتن حالت سکون یا حالت حرکت یکنواخت خود را در امتداد یک خط راست حفظ خواهد کرد. همچنین بنا به قانون دوم نیوتن، نیرو سبب می‌شود که جسم حرکت کند و در جهت نیرو شتاب بگیرد.

در صورتی که نیروی وارد بر جسمی موفق به حرکت دادن آن جسم شود می‌گوییم کار انجام گرفته است. مثلاً وقتی که کتابی را از روی زمین برمی‌داریم و آن را در راستای قائم بالا می‌بریم تا روی میز بگذاریم نیرویی مساوی و مخالف جهت نیروی جاذبهٔ زمین بر آن وارد می‌سازیم و آگاهیم که برای جا به جا کردن کتاب، انرژی مصرف کرده‌ایم و کار انجام داده‌ایم. ولی هنگامی که تلاش می‌کنیم تا تخته سنگ بزرگی را جا به جا کنیم و موفق نمی‌شویم، گرچه انرژی مصرف می‌کنیم اما کار انجام نمی‌دهیم.

پرسش ۷-۱ ـ پس انرژی که برای جابه‌جا کردن سنگ مصرف می‌کنیم چه می‌شود؟

وقتی که شما چمدانی را روی دوش خود نگه

W = F.d
۱ متر × ۱ نیوتن = ۱ ژول



شکل ۷-۱- جا به‌جایی در راستای نیرو × نیرو = کار

می‌دارید کار فیزیکی انجام نمی‌دهید بلکه فقط نیرویی رو به بالا برای خنثی کردن نیروی جاذبهٔ وارد بر چمدان که رو به پایین اثر می‌کند بر آن وارد می‌سازید. با وجود این وقتی که انسان بارسنگینی را روی دوش خود نگه می‌دارد پاره‌ای از بافتها و ماهیچه‌های بدن او کشیده یا فشرده می‌شوند و کار درون ماهیچه‌ای صورت می‌گیرد.

شما، در این مثال، از نظر فیزیکی وقتی کار انجام می‌دهید که چمدان را از روی زمین بلند کنید و روی دوش خود بگذارید یا آن را از پلکانی بالا ببرید. زیرا در این هنگام شما نیرویی وارد می‌کنید که در به حرکت در آوردن چمدان مؤثر است. اما وقتی که چمدان را بر دوش خود با سرعت ثابت، روی سطح افقی می‌برید نیز کار انجام نمی‌دهید. درست است که این جسم را جابه‌جا می‌کنید ولی نیرویی که شما برای نگه داشتن آن بر دوش خود اعمال می‌کنید درحرکت افقی آن مؤثر نیست.

کار وقتی انجام می‌شود که نیرویی سبب جا به جا شدن نقطهٔ اثر خود شود وتوجه به این مطلب مهم است که اگر نیرویی نتواند نقطهٔ اثر خود را جا به‌جا کند کار انجام نمی‌دهد.

اغلب، برای انجام دادن کار باید بریک نیروی مقاوم غلبه کرد. این نیروی مقاوم ممکن است:

نیروی جاذبه هنگام بالا بردن یک وزنه باشد؛

یا نیروی اصطکاک، هنگام کشیدن یا راندن یک جسم بر روی یک سطح باشد؛

یا نیروهای چسبندگی وپیوستگی بین‌مولکولها هنگام جدا کردن دو جسم از یکدیگر یا شکستن و پاره کردن یک جسم باشد؛

یا نیروهای برگرداننده: کشسان (الاستیک) هنگام کشیدن یک فنر باشد و مانند اینها .....

اندازهٔ کار

بنابر آنچه گفته شد، دو عامل در اندازهٔ کار مؤثر است یکی نیرو و دیگری اندازهٔ جا به‌جایی نقطهٔ اثر نیرو (شکل ۷-۱) و بنا به تعریف، کاربرابر است با حاصل ضرب نیرو دراندازهٔ جا به‌جایی نقطهٔ اثر نیرو در راستایی‌که نیرو اثر می‌کند.

یعنی:

جابه‌جایی در راستای نیرو × نیرو = کار

که اگر کار را به W و نیرو را به F و جابه‌جایی را به d نمایش دهیم کار، به صورت رابطهٔ ریاضی زیر نمایش داده می‌شود:

(۱-۷) $W = F.d$

واحد کار در دستگاه بین‌المللی واحدها (SI) ژول[1] (با علامت اختصاری J) نام دارد وبرابر است

1 - Joule

با کار حاصل از نیروی یک نیوتن هنگامی‌که نقطهٔ اثرش به‌اندازهٔ یک متر در راستای نیرو جابه‌جا شود.

یعنی:

$$۱ \text{ متر} \times ۱ \text{ نیوتن} = ۱ \text{ ژول} \quad (۲-۷)$$

بنابراین:

$$(۳-۷) \quad \underset{(J)}{W} = \underset{(N)}{F} \cdot \underset{(m)}{d}$$

که خوانده می‌شود: کار W برحسب ژول برابر است با حاصل‌ضرب نیروی F برحسب نیوتن ضرب در جابه‌جایی d برحسب متر.

واحدهای بزرگتر عبارتند از کیلوژول (با علامت اختصاری KJ) و مگاژول (MJ).

$$\begin{cases} 1kJ = 10^3 J \\ 1MJ = 10^6 J \end{cases}$$

مثلاً موتور بارکشی که نیروی متوسط ۹۰۰۰ نیوتن در مسافت ۲۰۰ متر وارد می‌سازد به‌اندازهٔ $۹۰۰۰ \times ۲۰۰ = ۱۸ \times ۱۰^5$ ژول، یا ۱۸۰۰ کیلوژول یا ۱/۸ مگاژول کار انجام می‌دهد.

برای این‌که جسمی به جرم m را در راستای قائم به‌بلندی h بالا ببریم باید کار:

$$(۴-۷) \quad W = mgh$$

را انجام بدهیم زیرا:

نیروی وارد برجسم $= mg$

جابه‌جایی نقطهٔ اثر نیرو $= h$

کارلازم برای جابه‌جا کردن جسم $W = mgh$

اگر W برحسب ژول باشد، m برحسب کیلوگرم و h برحسب متر و $g = ۹/۸ \frac{\text{نیوتن}}{\text{کیلوگرم}}$ است.[1]

پرسش ۷-۲ ـ پس از بالابردن جسم، این کار چه می‌شود؟

واحد عملی کار کیلوگرم متر (kgm) است. یک کیلوگرم متر برابر است با کار حاصل از نیروی یک کیلوگرم در مسافت یک متر وچون یک کیلوگرم نیرو تقریباً معادل ۹/۸ نیوتن است. بنابراین:

$$1\,kgm \simeq ۹/۸J$$

پرسش ۷-۳ ـ شخصی که وزن بدنش ۶۵ کیلوگرم نیروست اگر از نردبانی به ارتفاع ۴ متر بالا رود چه کاری برحسب ژول هنگام بالا رفتن انجام خواهد داد؟

پرسش ۷-۴ ـ درصورتی که نیرو در راستای جا به جا شدن جسم نباشد کار چگونه حساب می‌شود؟

ماشینها

نیروی ماهیچه‌های بدن ما، برای انجام کارهای سنگین مناسب نیست. مثلاً هنگام عوض کردن چرخ اتومبیل که باد لاستیک آن خالی شده است نمی‌توانیم به تنهایی با نیروی دست و بازوی خود اتومبیل را

۱ـ به صفحهٔ ۶۰ مراجعه کنید.

بالا ببریم ولی اگر نیروی دست و بازوی خود را بر دستهٔ یك جك وارد سازیم می‌توانیم آن را به نیروی بزرگی تبدیل کنیم که به‌آسانی اتومبیل را ازجای خود بالا می‌برد. هر کار آسانی مانند چمن زدن هم اگر بدون یك وسیله انجام شود خسته‌کننده است و در صورتی که به‌کمك یك وسیله مانند ماشین چمن زنی تندتر و راحت‌تر انجام می گیرد. جك اتومبیل و ماشین چمن زنی نمونه‌هایی ازماشینها هستند. مابرای این که از نیروها بهتر استفاده کنیم ماشینها را در خدمت خود همه روزه درخانه و کشتزار و صنعت و بازرگانی و دیگر جاها به‌کار می گیریم.

ماشینهای ساده

وقتی که از ماشین سخن می گوییم معمولاً به چیزی مانند تراکتور، یا چرخ خیاطی یا ماشین ریسندگی وبافندگی و مانند اینها می‌اندیشیم. اینها ماشینهای پیچیده‌ای هستند که اگر هر یك از آنها را به دقت بررسی کنیم می‌بینیم که از چند جزء اصلی ساده درست شده است وهرجزء به خودی خود ماشین کوچکی است که یك‌کار ساده را انجام می‌دهد. این اجزای اصلی را ماشین ساده می‌نامند.

در هرماشین، بین قسمتهای مختلف آن همواره مقداری اصطکاك وجود دارد که از کار مفید ماشین می‌کاهد و سبب می‌شود که در قانونهای اصلی حاکم برماشینها آشفتگی پدید آید. برای این که بتوانیم قانونهای ماشینها را به صورت ساده‌تری بیان کنیم آنها را بدون اصطکاك درنظر می گیریم.

اگر ماشینی بدون اصطکاك باشد وکار به‌صورت دیگری هم در آن تلف نشود ماشین کامل نامیده می‌شود. بدیهی است ماشین کامل وجود ندارد و فقط می‌توانیم آن را در ذهن خود مجسم کنیم.

چگونه از ماشینها کمك می گیریم؟

در شکل ۷-۲ مردی نشان داده شده است که صندوقی به‌وزن ۱۰۰۰ نیوتن را با یك دستگاه قرقرهٔ مرکب به طرف بالا می‌کشد. به کار بردن دستگاه قرقره‌ها برای مرد دو فایده دارد: نخست آن که



شکل ۷-۲- یك دستگاه قرقرهٔ مرکب بامزیت مکانیکی ۴

صندوق ۱۰۰۰ نیوتنی را به‌وسیلهٔ این دستگاه فقط با نیروی ۲۵۰ نیوتنی بالا می‌برد. دوم آن که برای بالا بردن صندوق نیرو به طرف پایین بر روی طناب دستگاه قرقره وارد می‌سازد و این یک مزیت است زیرا برای انسان آسانتر است که نیرویی رو به پایین وارد سازد تا این که همان نیرو را رو به بالا وارد نماید و تغییر جهت نیرو به وسیلهٔ دستگاه قرقره صورت می‌گیرد.

اینک دوچرخه را که آن هم یک ماشین است در نظر می‌گیریم: دوچرخه سوار روی رکاب آن نیرو وارد می‌سازد. این نیرو به وسیلهٔ زنجیر و چرخ دندانه‌دار به چرخ عقب منتقل می‌شود و آن را می‌چرخاند. وقتی که دوچرخه سوار رکاب را کمی جابه‌جا می‌کند چرخ عقب مسافت بیشتری می‌پیماید، بنابراین دوچرخه سبب می‌شود که دوچرخه سوار از مسافت و سرعت بیشتر بهره ببرد. این دو مثال طرز کمک گرفتن از ماشین را برای شما روشن می‌سازند. بنابراین ماشینها می‌توانند:

یا نیرویی را که بر آنها وارد می‌سازیم چند برابر کنند.

یا جهت نیرویی را که بر آنها وارد می‌سازیم تغییر دهند

یا اندازهٔ جابه‌جایی نقطهٔ اثر نیرویی را که وارد می‌سازیم چند برابر کنند.

مزیت مکانیکی

وقتی که ماشینی را به کار می‌بریم می‌خواهیم بدانیم که از این ماشین چه بهره‌ای می‌گیریم: به عبارت دیگر، کاربرد آن چه مزیتی دارد. اگر نیرویی را که ما بر ماشین وارد می‌سازیم نیروی محرک و نیرویی را که ماشین برای غلبه بر یک مقاومت و یا برای به حرکت درآوردن یک جسم وارد می‌سازد نیروی مقاوم بنامیم برای تعیین این مزیت کافی است نسبت نیروی غلبه کننده بر مقاومت را که ماشین اعمال می‌کند به نیروی محرکی که ما بر ماشین وارد می‌سازیم تعیین نماییم. این نسبت، چنان که می‌دانید، مزیت مکانیکی ماشین نامیده می‌شود.

$$\text{مزیت مکانیکی} = \frac{\text{نیروی مقاوم}}{\text{نیروی محرک}}$$

اگر مزیت مکانیکی را به A، نیروی مقاوم را به R و نیروی محرک را به E نمایش دهیم، مزیت مکانیکی در رابطهٔ ریاضی زیر خلاصه می‌شود:

$$A = \frac{R}{E} \qquad (۵-۷)$$

در قرقره‌های مرکب شکل ۷-۲، که نیروی مقاوم ۱۰۰۰ نیوتن و نیروی محرک ۲۵۰ نیوتن است مزیت مکانیکی برابر $\frac{1000}{250} = 4$ است، یعنی این ماشین نیرویی را که مرد وارد می‌سازد چهار برابر می‌کند.

پرسش ۷-۵ - آیا مزیت مکانیکی دوچرخه از واحد بزرگتر است یا کوچکتر است؟

رابطهٔ بین کار محرک و کار مقاوم در ماشینهای ساده

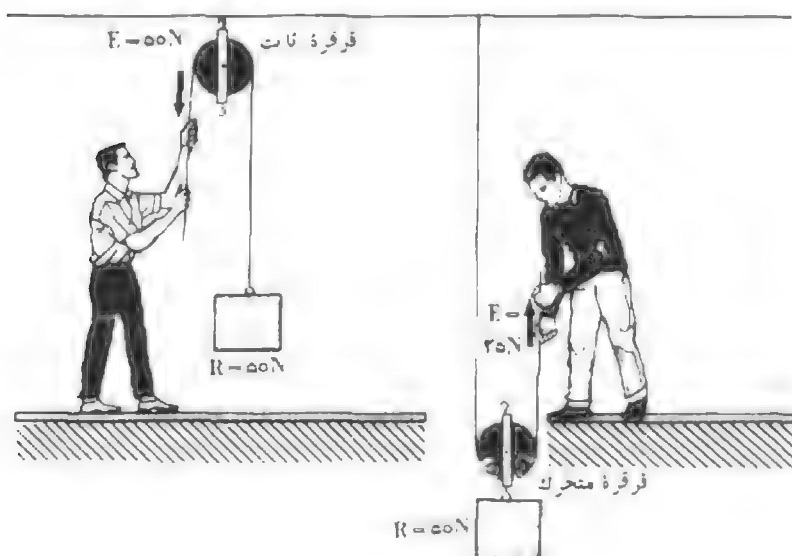
در مثال قرقره، چون مرد با نیرویی که $\frac{1}{4}$ نیروی مقاوم است صندوق را بالا می‌برد ممکن است تصور کنید که کار کمتری برای بالا بردن آن انجام می‌دهد، ولی این تصور درست نیست زیرا اگر بخواهد صندوق را یک متر بالا ببرد باید طناب را چهار متر

بکشد. بنابراین در همان زمانی که ماشین نیروی مرد را چهار برابر می‌کند، نقطهٔ اثر نیروی مقاوم را به‌اندازهٔ یك چهارم مسافتی که نیروی محرك می‌پیماید جا به‌جا می‌کند. به‌مثال دوچرخه برگردیم: مسافتی که‌چرخ‌عقب‌دوچرخه (ودرنتیجه خوددوچرخه) می‌پیماید بزرگتر از جا به‌جایی رکاب است ولی دوچرخه سوار، برای این افزایش سرعت، باید با پاهای خود نیروی بیشتری بر رکاب دوچرخه وارد بیاورد. به عبارت دیگر، برای‌آن‌که سرعتش افزایش یابد باید بیشتر تلاش کند. این تلاش به ویژه هنگامی که دوچرخه سوار برفرازتپه‌ای بالا می‌رود محسوس‌تر است و نیرویی که باید بررکاب وارد سازد آن قدر زیاد است که برای دوچرخه سوار اغلب آسانتر است پیاده به بالای تپه برود تا این‌که سوار بردوچرخه باشد. اینك برای یافتن رابطهٔ کار محرك (یعنی کار نیروی محرك) وکار مقاوم (یعنی کار نیروی مقاوم) درماشینها به مثالهای زیر توجه کنید:

الف ــ قرقره‌ها

می‌دانیدقرقره‌ها، چه ساده وچه مرکب ازجملهٔ ماشینهای ساده‌ای هستندکه به‌صورت بزرگ وکوچك زیاد به‌کار می‌روند. قرقرهٔ ساده ازیك قاب و یك چرخ شیاردار درست شده است که آزادانه درون قاب می‌چرخد. شکل۷ـ۳ دوجورکاربرد یك قرقرهٔ ساده را نشان می‌دهد.

شکل طرف چپ مردی را نشان می‌دهدکه از یك قرقرهٔ ثابت برای بالابردن باری استفاده می کند ومزیت مکانیکی‌آن ۱ است. زیرا مثلا برای‌بالابردن بار ۵۰ نیوتنی باید نیروی ۵۰ نیوتن به سر دیگر طناب واردکند. با وجود این، قرقره کار او را آسانتر می‌کند زیرا برای بالابردن بار باید نیرو رو به پایین واردکند و می‌تواند از وزن بدن خودکمك بگیرد.

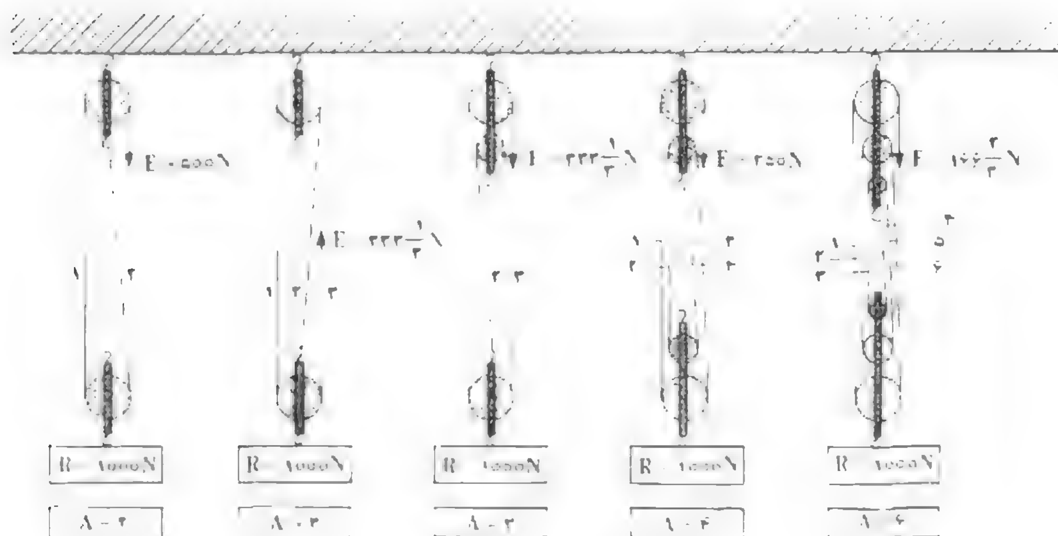


شکل ۷ـ۳ــ یك قرقرهٔ سادهٔ ثابت ویك قرقرهٔ سادهٔمتحرك.

درشکل طرف راست، مرد از یك قرقرهٔ سادهٔ متحرك برای بالا بردن بار ۵۰ نیوتنی استفاده می کند. دراین حالت، هردوشاخهٔ طناب (کـه با هم موازی هستند) وزن ۵۰ نیوتن را متحمل می‌شونـد. سر یك شاخهٔ طناب به جایی بسته شده است وسر شاخهٔ دیگـر آن که آزاد است توسط مرد کشیده می‌شود وچون هرشاخهٔ طناب نصف وزن بار را متحمل می‌شود، مرد باید فقط به اندازهٔ نصف وزن بار (درمثال ما ۲۵ نیوتن) به شاخهٔ آزاد طناب واردسازد. درنتیجه، مزیت مکانیکی قرقره ۲ است. اما درمقابل این مزیت مکانیکی برای این‌که بار یك متر بالا برده شود مرد باید طناب را دومتر بکشد.

پرسش ۷ـ۶ ـ اگر دوشاخهٔ طناب در دوطرف قرقره با هم موازی نباشند آیا هرشاخه باز هم نصف وزن بار را تحمل می کند؟

شکل ۷ـ۴ چند دستگاه قرقرهٔ مرکب را نشان می‌دهد که مزیتهای مکانیکی متفاوت دارنـد. در هر یك ازاین دستگاهها، هرشاخه‌ازطناب که به‌قرقره‌های متحرك بسته است یا از شیار آنها می گذرد مقـدار مناسبی از وزن بار را تحمل می کند. در واقـع وزن بار به طور مساوی بین شاخه‌های طنابی‌کـه آن را تحمل می کنند تقسیم می‌شود. مثلا در دستگاهی کـه تعداد قرقره‌های آن ۴ است ونمونهٔ بزرگتر آن در شکل۷ـ۲ نمایش داده شده‌است، نیروی‌مقاوم ۱۰۰۰ نیوتنی به چهار نیروی مساوی، هریك ۲۵۰ نیوتن، تقسیم گردیده است. چون مرد شاخهٔ بیرونی طناب را می کشد فقط نیروی ۲۵۰ نیوتن واردمی‌سازد ومزیت مکانیکی ایـن دستگاه ۴ است. یعنی برابر است با تعداد شاخه‌های طناب کـه قرقره‌های متحرك و وزنه متصل به‌آنها را تحمل می کنند.



شکل ۷ـ۴ـ مـزیت مکانیکی در دستگاه قرقره‌های مرکب برابر است با عدهٔ شاخه‌های طناب کـه قرقره‌های متحرك وبار متصل به آنها را تحمل می‌کنند.

قانون کار ـ فرض کنید که مرد، قرقرهٔ مرکب چهارتایی را که شرح آن داده شده به کار می‌برد و بار ۱۰۰۰ نیوتنی را با وارد ساختن نیروی ۲۵۰ نیوتن بالا می‌برد. برای این که بار به اندازهٔ یك متر بالا برود باید طناب را چهارمتر بکشد. کاری که توسط مرد به این ماشین داده می‌شود برابر است با:

(ژول)۱۰۰۰ = (متر)۴ × (نیوتن)۲۵۰

و کاری که ماشین انجام می‌دهد برابر است با:

(ژول)۱۰۰۰ = (متر)۱ × (نیوتن)۱۰۰۰

کاری که به ماشین داده می‌شود کار محرك یا کار نیروی محرك نام دارد. بدیهی است:

جابه‌جایی نقطهٔ اثر نیروی محرك × نیروی محرك = کارمحرك

کاری که ماشین برای بالابردن بار یا غلبه بر یك مقاومت انجام می‌دهد کارمقاوم یا کار نیروی مقاوم نامیده می‌شود.

می‌بینید که دراین ماشین کار نیروی محرك برابر کار نیروی مقاوم است و این قانون کار در ماشینهای کامل است که چنین بیان می‌شود:

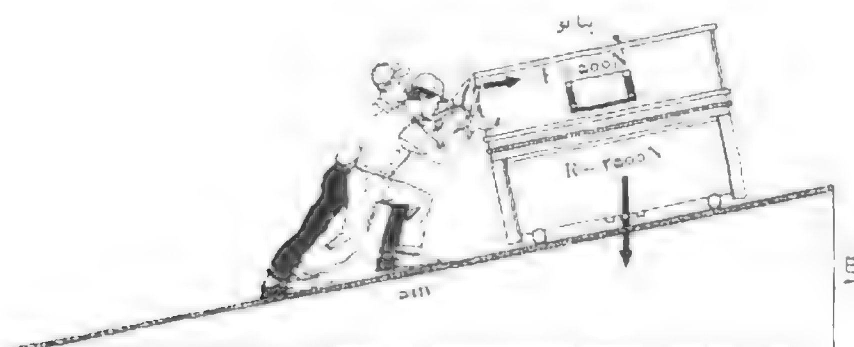
دریك ماشین کامل کار ازبین نمی‌رود وخود به خود نیز تولید نمی‌شود بلکه کار محرك همواره برابر کار مقاوم است.

پرسش ۷ـ۷ ـ درشکل ۷ـ۵ ، یك دستگاه پیانو به وزن ۲۵۰۰ نیوتن توسط دومرد، روی هم با نیروی ۵۰۰ نیوتن درروی سطح شیبداری که اصطکاك آن ناچیز است به طرف بالا برده می‌شود. مزیت مکانیکی این سطح که درحکم یك ماشین ساده است چیست؟ چگونه می‌توانید با توجه به اعدادی که روی شکل نوشته شده است قانون کار را در این ماشین تحقیق کنید؟

ب ـ اهرمها

اهرمها را به‌خوبی می‌شناسید. آلاکلنگ که در شکل ۷ـ۶ نمایش داده‌شده است یك نوع اهرم است.

ساده‌ترین نوع اهرم از یك میله تشکیل می‌شود که می‌تواند به دور محوری به نام تکیه‌گاه آزادانه بچرخد. نیروی محرکی که به یك سر میله وارد می‌گردد سبب می‌شود که اهرم به دور تکیه‌گاه خود بچرخد وهنگام چرخیدن، نقطهٔ اثر نیروی مقاوم را که برسر دیگر میله اثر می‌کند به‌حرکت درآورد.



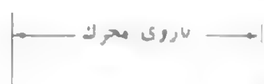
شکل ۷ـ۵ـ سطح شیبدار نیز یك ماشین ساده است

مثلاً در آلاکلنگ، وزن کودکی که دریک سر آن نشسته است (نیروی محرک) سبب چرخیدن میله به دورتکیه‌گاه خود می‌شود و کودک دیگر (نیروی مقاوم) را که درسر دیگر آلاکلنگ قرار گرفته است بالا می‌برد.



شکل ۷ـ۶ـ نیروهایی که بر آلاکلنگ اثر می‌کنند

درچرخ دستی خاک‌کشی (شکل ۷ـ۷)، مرد، نیروی محرک را به دستهٔ آن رو به بالا وارد می‌سازد. این نیرو سبب می‌شود که بدنهٔ اسباب به دور مرکز چرخ که در حکم تکیه‌گاه است بچرخد و بالا آید و بار (یعنی نیروی مقاوم) را بالا ببرد. تعدادی از ابزارها مانند قیچی، انبردست، فندق شکن، قندگیر و مانند اینها از دواهرم ساده تشکیل یافته‌اندکه به دور محور مشترکی می‌چرخند (به شکل ۷ـ۸ نگاه کنید).



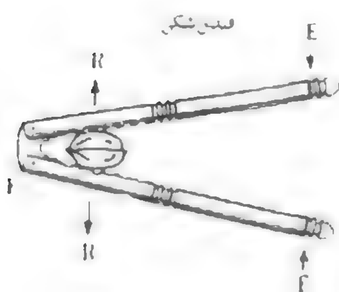


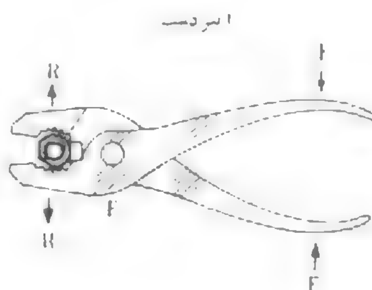
شکل ۷ـ۷ـ نیروهایی که بر یک چرخ خاک‌کشی اثر می‌کنند

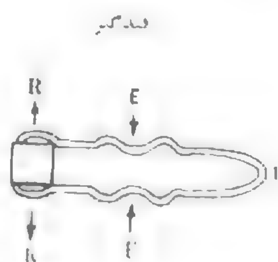
پرسش ۷ـ۸ ـ شکل ۷ـ۸ سه نوع ابزار را که براساس کار اهرمها ساخته شده‌اند نشان می‌دهد. با سابقه‌ای که ازشناسایی اهرمهای نوع اول و دوم و سوم دارید توضیح دهیدکه هریك از این اهرمها از چه نوع هستند؟

قانون اهرمها ـ برای پیداکردن قانون اهرمها به مثال سادهٔ آلاکلنگ توجه‌کنید.

بنابرآنچه‌گفتیم مزیت مکانیکی این اهرم چنین است







شکل ۷ـ۸ـ سه نمونه از اهرمهای مضاعف

$$A = \frac{R\ (\text{نیروی مقاوم})}{E\ (\text{نیروی محرک})}$$

می‌دانید فاصلهٔ نیروی محرک از تکیه گاه (یعنی طول خطی که از تکیه گاه بر راستای نیرو عمود می‌شود) بازوی محرک وفاصلهٔ نیروی مقاوم از تکیه گاه بازوی مقاومت اهرم نامیده می‌شود. در بخش ۵ دیدید که حاصل ضرب نیروی محرک در بازوی محرک، گشتاور نیروی محرک وحاصل ضرب نیروی مقاوم در بازوی مقاومت، گشتاور این نیرو نسبت به تکیه گاه است چنانچه اهرم درحال تعادل باشد:

گشتاور نیروی مقاوم = گشتاور نیروی محرک

اگر طول بازوهای محرک ومقاومت اهرم را به ترتیب به L_E و L_R نمایش دهیم رابطهٔ بالا چنین نوشته می‌شود:

$$E \cdot L_E = R L_R$$

یا

$$\frac{R}{E} = \frac{L_E}{L_R}$$

بنابراین مزیت مکانیکی اهرم برابر است با:

$$A = \frac{R}{E} = \frac{L_E}{L_R} \qquad (۶-۷)$$

یعنی مزیت مکانیکی اهرم برابر نسبت طول بازوی محرک به طول بازوی مقاومت است.

ج- چرخ ومحور

چرخ ومحور نیز یک نوع ماشین ساده است که ازیک چرخ بزرگ ویک چرخ کوچک، به نام محور، متصل بهم تشکیل می‌شود وهردو با هم می‌چرخند. کلید قفل در را می‌توان نمونهٔ متداولی از این نوع ماشین دانست که دستهٔ آن درحکم چرخ بزرگتر و بدنهٔ آن، درحکم چرخ کوچکتر است. هرگاه نیروی کوچکی بردستهٔ کلید وارد شود سبب می گردد که بدنهٔ کلید بچرخد ونیروی زیادی بر زبانهٔ قفل وارد سازد. فرمان اتومبیل، آچارپیچ گوشتی، چرخ چاه، چرخ متهٔ دستی نمونه‌های دیگری از این نوع ماشین هستند.

مزیت مکانیکی چرخ ومحور - برای تعیین مزیت‌مکانیکی این نوع‌ماشین، شکل ۷-۹ رادر نظر بگیرید. در این شکل طنابی می‌بینید که به چرخ بزرگ بسته و به دور آن پیچیده شده است. وقتی که این طناب کشیده شود چرخ بزرگ می‌چرخد وچرخ کوچک را نیز با خود می‌چرخاند. این چرخ به‌نوبهٔ خود طناب دیگری راکه حامل بار است به دور خود می‌پیچاند وبار را بالا می‌برد. بنابراین‌نیروی کوچک E که به چرخ بزرگ وارد می گردد بار بزرگ R (نیروی مقاوم) راکه به چرخ کوچک تحمیل می‌شود بالا می‌برد ومزیت مکانیکی آن برابر است با:

$$A = \frac{R}{E}$$

اگر شعاع چرخ بزرگتر را به r_E و شعاع چرخ کوچکتر (محور) را به r_R نمایش دهیم چون این دوشعاع در واقع بـه ترتیب بـازوهای محرک و مقاومت این اهرم هستندگشتاور نیروی محرک نسبت به تکیه گاه $E \times r_E$ وگشتاور نیروی مقاوم نسبت‌به تکیه گاه $R.r_R$ است.

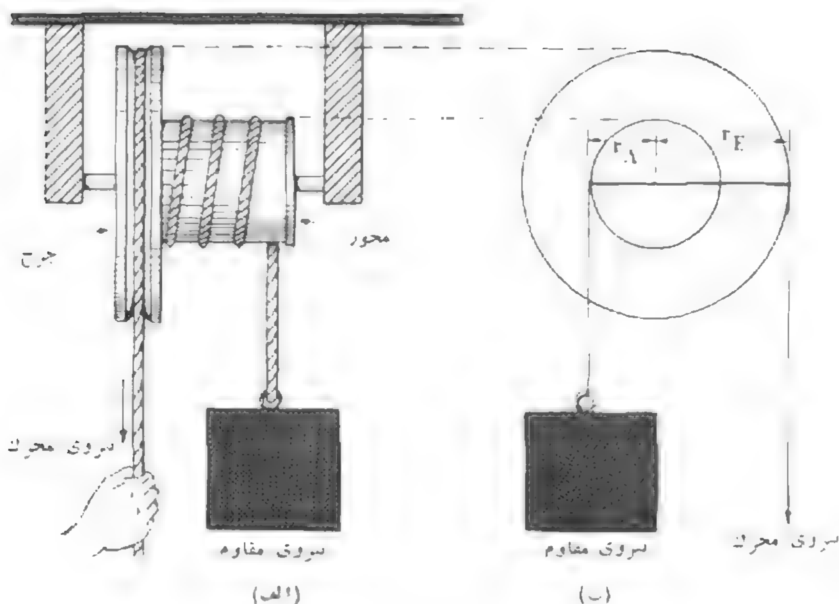
درحالت تعادل این گشتاورها با هم برابرند و داریم:

$$E \cdot r_E = R \cdot r_R$$

یا

$$\frac{R}{E} = \frac{r_E}{r_R}$$

بنابراین، مزیت‌مکانیکی ماشین چرخ ومحور



شکل ۷-۹- مزیت مکانیکی ماشین چرخ ومحور برابر نسبت شعاع چرخ به شعاع محور است.

از رابطهٔ زیر حساب می‌شود:

$$A = \frac{R}{E} = \frac{r_E}{r_R} \quad (۷-۷)$$

یعنی مزیت مکانیکی ماشین چرخ ومحور برابر نسبت شعاع چرخ به شعاع محور است. مثلاً اگر شعاع چرخ ۲۵cm و شعاع محور ۵cm باشد مزیت مکانیکی ماشین $۵ = \frac{۲۵}{۵}$ است.

پرسش ۷-۹ ـ با استفاده ازقانون تساوی کار، چگونه به همین نتیجه خواهید رسید؟

مزیت مکانیکی ماشینهای واقعی

درتعیین مزیت مکانیکی ماشینها فرض این‌بود که اصطکاك وهر نوع عامل دیگر که سبب اتلاف کار درآنها بشود وجود ندارد. ولی ماشینهای واقعی‌که در عمل به‌کارمی‌روند بدون اصطکاك نیستند وباید مزیت مکانیکی واقعی آنها را تعیین‌کنیم. مزیت مکانیکی یك ماشین واقعی عبارت است از نسبت نیروی مقاوم به نیروی محرك واقعی که باید به یك ماشین وارد شود تا آن ماشین بتواندکار انجام دهد. یعنی:

$$\text{مزیت مکانیکی واقعی} = \frac{\text{نیروی مقاوم}}{\text{نیروی محرك واقعی}} \quad (۷-۸)$$

مثلاً در نظر بگیرید‌که از سطح شیبداری به طول ۵m وبه بلندی ۱m (شکل ۷-۵) برای بالا بردن باری به وزن ۲۵۰۰N استفاده می‌کنیم، در صورتی‌که سطح‌بدون اصطکاك درنظر گرفته شود باید نیروی ۵۰۰ N برای بالابردن بار وارد سازیم. در نتیجه، مزیت مکانیکی کامل آن برابر $۵ = \frac{۲۵۰۰}{۵۰۰}$ است‌که برابر نسبت طول سطح به بلندی آن یعنی $\frac{۵}{۱}$

می‌باشد (پاسخ پرسش ۷ـ۷ را ببینید). ولی در واقع سطح شیب‌دار بدون اصطکاك وجود ندارد ونیروی محرکی که برای بالابردن جسم در روی سطح لازم است بیش از ۵۰۰ نیوتن است زیرا باید برنیروی اصطکاکی که‌بین‌جسم وسطح وجود دارد نیز غلبه‌کنیم

پرسش ۷ــ۱۰ ـ درمثال بالا اگر برای غلبه برنیروی اصطکاك ۲۵۰ نیوتن نیرو لازم باشد مزیت مکانیکی واقعی سطح شیبدار چیست؟

بدیهی است برای افزودن مزیت مکانیکی ماشینها باید، تا ممکن است، نیروی اصطکاك را کم کنیم وشما اکنون روشهای کاستن نیروی اصطکاك را می‌دانید.

قانون‌کار درماشینهای واقعی

چون نیروی محرك لازم برای به‌کارانداختن یك ماشین واقعی بیش از نیروی محرك برای به‌کار انداختن یك ماشین‌کامل است کاری هم‌که به ماشین واقعی داده می‌شود (کار محرك) نیز بیشتر ازکار مفیدی است‌که ازماشین پس گرفته می‌شود. درصورتی که اتلاف‌کار در ماشین بـه صورت غلبه براصطکاك باشد قانون‌کار چنین بیان می‌شود:

کاری‌که برای غلبه براصطکاك مصرف‌می‌شود بعلاوه کار مفیدی که از ماشین گرفته می‌شود برابر است باکاری‌که به‌ماشین داده می‌شود.

کاری‌که برای غلبه براصطکاك انجام می‌شود صرف تولیدگرما شده وتلف می‌گردد. بنابراین تمام کاری راکه به یك ماشین واقعی می‌دهیم ماشین پس نمی‌دهد

بازده ماشین

بازده یك ماشین نشان دهندهٔ‌کار واقعی آن ماشین است وبنا به تعریف عبارت است از نسبت‌کار مفیدگرفته شده ازماشین به‌کار داده شده به‌آن یعنی:

(۷ـ۹)

$$\text{بازده ماشین} = \frac{\text{کارمفیدی که ماشین انجام می‌دهد}}{\text{کاری که به‌ماشین داده می‌شود}}$$

معمولاً بازده را برحسب درصد بیان می‌کنند. بنابراین:

(۷ـ۱۰)

$$\text{مقدار درصد بازده} = \frac{\text{کارمفیدی که ماشین انجام می‌دهد}}{\text{کاری که به‌ماشین داده می‌شود}} \times ۱۰۰$$

بازده نشان می‌دهدکه چند درصد ازکار داده شده به ماشین به صورت‌کار مفید به ما پس داده می‌شود. کاهش اندازهٔ‌کار در ماشین به صورت غلبه بر نیروی اصطکاك به مصرف می‌رسد.

بازده ماشین‌کامل صد درصد است زیرا کار داده شده برابر کارگرفته شده‌است.

مثال ـ دریك ماشین‌چرخ ومحور، شعاع‌چرخ ۳۰ سانتیمتر و شعاع محور ۵ سانتیمتر است. به وسیلهٔ این ماشین بـار ۱۵۰۰ نیوتنی را ۳ متر بالا می‌برند وبرای بالابردن آن ۳۰۰ نیوتن نیرو وارد می‌سازند.

۱ـ مزیت مکانیکی کامل ماشین

$$= \frac{\text{شعاع چرخ}}{\text{شعاع محور}} = \frac{۳۰}{۵} = ۶$$

۲ـ مزیت مکانیکی واقعی ماشین

$$= \frac{\text{نیروی مقاوم}}{\text{نیروی محرك واقعی}} = \frac{۱۵۰۰}{۳۰۰} = ۵$$

۳ـ کارمفیدگرفته شده ازماشین

$$= \text{نیروی‌مقاوم} \times \text{اندازهٔ‌جابه‌جایی‌نقطهٔ‌اثر نیروی‌مقاوم}$$

$$= ۱۵۰۰\,N \times ۳\,m = ۴۵۰۰\,J$$

۴ـ اندازهٔ جابه‌جایی نقطهٔ اثر نیروی محرک × نیروی محرک = کار داده شده به ماشین

جابه‌جایی نقطهٔ اثر نیروی محرک داده شده است ولی چون مزیت مکانیکی کامل ماشین ۶ است این جابه‌جایی شش برابر جابه‌جایی نقطهٔ اثر نیروی مقاوم یعنی $6 \times 3 = 18m$ است. بنابراین

$$\text{کار داده‌شده به ماشین} = 300N \times 18m = 5400J$$

۵ـ مقدار درصد بازده ماشین

$$= \frac{\text{کار مفیدی که از ماشین گرفته می‌شود}}{\text{کاری که به ماشین داده می‌شود}}$$

$$= \frac{4500}{5400} \times 100 = \frac{250}{3} = 83/3\%$$

۶ـ کاری که برای غلبه بر اصطکاک به‌مصرف می‌رسد

$$= 5400 - 4500 = 900J$$

توان

اغلب برای ما جالب است که علاوه بر تعیین کار انجام شده، **بدانیم کار در چه زمانی انجام گرفته‌است. مقدار کار انجام شده در واحد زمان را توان گویند**، بنابراین برای تعیین توان متوسط یک ماشین یا یک اسباب کافی است کاری را که ماشین انجام می‌دهد بر زمان انجام آن تقسیم کنیم، یعنی:

$$(۱۱-۷)\quad \begin{cases} \text{توان متوسط} = \dfrac{\text{کار}}{\text{زمان}} \\ \overline{P} = \dfrac{W}{t} \end{cases}$$

یا

$\overline{P}$ نمایش توان متوسط است.

واحد توان در دستگاه بین‌المللی واحدها، وات[1] است که با علامت اختصاری W نمایش داده می‌شود. یک وات برابر یک ژول کار است که درمدت یک ثانیه انجام گرفته است

$$(۱۲-۷)\quad \text{یک وات} = \frac{\text{یک ژول}}{\text{یک ثانیه}}$$

بنابراین

$$(۱۳-۷)\quad P\,(\text{وات}) = \frac{W\,(\text{ژول})}{t\,(\text{ثانیه})}$$

برای سنجش توانهای بزرگتر، واحدهای کیلووات (kW) ومگاوات (MW) را به کار می‌برند:

$$\begin{cases} 1kW = 10^3 W \\ 1MW = 10^6 W \end{cases}$$

مثال ۱ ـ توان موتور پمپی که ۲۰۰ کیلوگرم آب را در ۱۰ ثانیه به ارتفاع ۶ متر بالا می‌برد (به ازای $g = 9/8 m/s^2$) برحسب کیلووات چنین حساب می‌شود

نیرویی که موتور برای غلبه بر وزن آب وارد می‌سازد

$$= 200kgf = 200 \times 9/8N$$

$$\text{مسافت} = 6m$$

$$\text{کار انجام گرفته} = 200 \times 9/8 \times 6J$$

$$\text{زمان لازم برای انجام کار} = 10s$$

$$\text{توان} = \frac{\text{کار}}{\text{زمان}}$$

$$= \frac{200 \times 9/8 \times 6}{10} = 1176W = 1/176\,kW$$

مثال ۲ـ پسری که وزنش ۲۰ کیلوگرم نیرو است می‌تواند از ۴۵ پله که بلندی هر یک ۱۶ سانتیمتر است با بیشترین سرعت خود درمدت ۲/۵ ثانیه بالا برود.

---

[1] Watt.

توان شخصی این پسر چنین حساب می‌شود:

نیرویی که پسر برای غلبه بر جاذبه وارد می‌سازد

$$= ۴۰\ \mathrm{kgf} = ۴۰ \times ۹/۸\mathrm{N}$$

$$\text{مسافت} = ۴۵ \times ۱۶ = ۷۲۰\mathrm{cm} = ۷/۲\mathrm{m}$$

کاری که پسر انجام می‌دهد

$$= ۴۰ \times ۹/۸ \times ۷/۲\mathrm{J}$$

$$\text{توان} = \frac{۴۰ \times ۹/۸ \times ۷/۲}{۵/۲}$$

$$\simeq ۵۴۳\ \mathrm{W} \simeq ۰/۵۴\mathrm{kW}$$

این توان برای پسر معتبر است ولی باید به خاطر داشته باشید که چنین توان خیلی زیاد را پسر فقط می‌تواند درمدت کوتاهی دارا باشد. آزمایش نشان می‌دهد که توان متوسط یك مرد که ازپلکان با گامهای معمولی بالا می‌رود تقریباً ۰/۲۳ کیلووات است.

انرژی

در سالهای پیش تعریف انرژی را به صورت توانایی انجام کار آموخته‌اید. بدیهی است هرچیز که آمادگی وقابلیت انجام کار داشته باشد دارای انرژی (یا کارمایه) است.

می‌دانید انرژی به صورتهای متفاوت وجود دارد ولی همهٔ آنها دریك خاصیت مشترکند و آن قابلیت انجام دادن کار است. این خاصیت سبب می‌شود که با اندازه گیری کار حاصل ازانرژی بتوانیم انرژی را نیز اندازه بگیریم. بنابراین کار وانرژی هردو با یك واحد اندازه گرفته می‌شوند.

در جهان، انرژی به صورتهای مختلفی مانند انرژی شیمیایی، انرژی الکتریکی و مغناطیسی، انرژی مکانیکی، انرژی تابشی و انرژی هسته‌ای فراهم شده‌است.

انرژی شیمیایی یکی ازمهمترین اقسام انرژی است. استفاده ازانرژی نهفتهٔ شیمیایی موجود درنفت، گاز و زغال سنگ که به صورت گرما آزاد می‌شود برای به‌کارانداختن توربینهای بخار و موتورهای درونسوز عامل مهمی درپیشرفت صنعت نوین به شمار می‌رود.

بسیاری از وسایل آسایش که ما امروز در زندگی ازآنها بهره‌مند می‌شویم از انرژی الکتریکی مایه می‌گیرند. مولدهای الکتریسیته‌را از ابتدا به وسیلهٔ ماشینهای بخار وتوربینهای بخار و موتورهای درونسوز به‌کار انداخته‌اند. از اواسط قرن بیستم در بسیاری ازکشورهای جهان ازجمله درکشور خودمان با ساختن سدهای بزرگ، تأسیسات عظیم هیدرو ـ الکتریك بنا شده‌است. هیدروالکتریك به معنای تولید الکتریسیته به وسیلهٔ مولدهایی است که با توربینهای آبی می‌چرخند. جریان تند وپرفشار آب که بدین منظور به‌کار می‌رود ازمخزنهای بزرگ آب ذخیره شده در پشت سدهای عظیم که در درهها برمسیر رودخانه‌ها بسته شده‌اند تأمین می‌گردد. در جدول ۷ـ۱ پاره‌ای از تأسیسات هیدروالکتریك که در این چند سال اخیر درکشور ما بنا شده‌اند با ظرفیت انرژی الکتریکی سالانهٔ آنها درج گردیده است.

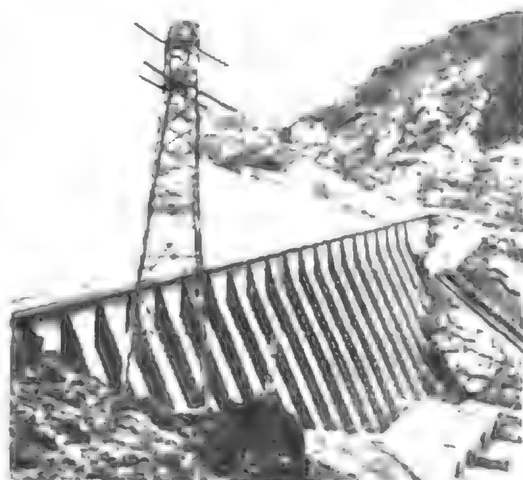
جدول ۷ـ ۱ـ پاره‌ای از تأسیسات نیدروالکتریک کشور ومیزان ظرفیت تولید برق سالانهٔ آنها

نام سد	جای سد	ظرفیت تولید برق سالانه برحسب میلیون کیلووات ساعت[1]
سد دز	برروی رودخانهٔ دز در دزفول (خوزستان)	۲۲۰۰
سد امیرکبیر	برروی رودخانهٔ کرج در ۲۳ کیلومتری شمال کرج	۱۳۰۰
سد سفیدرود	برروی سفیدرود درمنجیل (گیلان)	۴۲۰
سد زاینده رود	برروی زاینده رود دراصفهان	۱۷۴
سد ارس	برروی رودخانهٔ ارس در آذربایجان غربی	۸۸ (سهم ایران)
سد زرینه رود	برروی زرینه رود درآذربایجان شرقی	۵۶
سد درودزن	برروی رودخانهٔ کر درفارس	۴۹
سد مهاباد	برروی رودخانهٔ مهاباد در مهاباد	۲۴
سد لتیان	برروی رودخانهٔ جاجرود در ۳۵ کیلومتری شرق تهران	۲۲

درپاره‌ای ازکشورهای مناطق گرم که پرتوهای خورشید دربیشتر روزهای سال تقریباً به طور دائم می‌تابد به وسیلهٔ آینه‌های مقعر فلزی بزرگ، این پرتوها را برروی دیگهای محتوی آبی که برای همین منظور ساخته شده‌اند می‌تابانند وآب را به‌جوش می‌آورند و با بخار آب حاصل، به وسیلهٔ توربینهای بخار، مولدهای الکتریکی کوچکی را به حرکت در می‌آورند.

پرسش ۷ـ۱۱ ـ از انرژی موجود در باد چگونه استفاده می‌شود؟

استفاده از انرژی هسته‌ای از نیمهٔ دوم قرن بیستم شروع شده‌است. این انرژی چنان‌که می‌دانید



شکل ۷ـ۱۵ـ سد سفید رود در گیلان که بر روی سفید رود بسته شده است.

۱ـ هر کیلووات ساعت برابر ۳۶۰۰ کیلوژول است.

نوع تازه‌ای از انرژی گرما است که برای تولید الکتریسیته نیز به کار می‌رود.

انرژی مکانیکی

انرژی مکانیکی به دوگونه ظاهر می‌شود انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل. (این انرژیها را به ترتیب به علامتهای اختصاری E_C و E_P نمایش می‌دهیم.)

الف- انرژی جنبشی انرژیی است که جسم به علت حرکت خود دارد. به عبارت دیگر، هر جسم متحرك دارای انرژی جنبشی است. مثلاً گلوله و چکش درحال حرکت دارای انرژی جنبشی هستند و به همین جهت، هنگام برخورد به یك جسم، می‌توانند کار انجام دهند.

آب جاری و باد (جریان هوا) نیز دارای انرژی جنبشی هستند و چنان که می‌دانید اگر انرژی آنها مهارشود به کار تبدیل می‌گردد. متأسفانه انرژی جنبشی موجود در طوفانهای شدید و سیلهای عظیم را انسان نمی‌تواند مهار کند. به همین جهت طوفانها و سیلها همواره خرابیهایی به بار می‌آورند.

اندازهٔ انرژی جنبشی ـ انرژی یك جسم به جرم m که با سرعت V درحرکت است ازرابطهٔ زیر حساب می‌شود[1]:

$$E_c = \frac{1}{2} mV^2 \quad (15-7)$$

اگر m برحسب کیلوگرم و V برحسب متر بر ثانیه انتخاب شود E_C برحسب ژول حساب می‌شود.

مثلاً انرژی جنبشی گلوله‌ای به‌جرم ۲۵ گرم (۰/۰۲۵ کیلوگرم) که با سرعت ۵۰۰ متر بر ثانیه حرکت می‌کند برابر است با :

$$E_C = \frac{1}{2} \times 0.025 \times (500)^2 = 2500 J$$

ب- انرژی پتانسیل انرژی نهفته‌ای است که یك جسم به سبب وضع یا حالت خود نسبت به جسم دیگر دارا می‌باشد. یکی ازنمونه‌های متداول انرژی پتانسیل انرژی است که دریك جسم هنگامی که ازسطح تراز زمین بالا برده می‌شود ذخیره می‌گردد.

بطوری که قبلاً دیدید برای این که جسمی به جرم m را درراستای قائم به‌بلندی h بالا ببریم برای غلبه بر نیروی جاذبه بایدکار $W = mgh$ را انجام‌دهیم. این کار (بنابر قانون بقای کار) از بین نمی‌رود بلکه به صورت انرژی و به‌نام انرژی پتانسیل جاذبه‌ای در جسم ذخیره‌می‌شود. بنابراین انرژی پتانسیل جاذبه‌ای موجود درجسم به‌صورت رابطهٔ زیرنوشته می‌شود:

$$E_p = mgh$$

پرسش ۷-۱۲ـ وقتی که فنری را می‌کشید دارای چه نوع انرژی می‌شود؟

انرژیهای جنبشی وپتانسیل به‌یکدیگر تبدیل می‌شوند ـ شما هرروز دراطراف خود اشیای زیادی

---

۱ ـ اثبات این فرمول را درسالهای بعد خواهید آموخت.

را مشاهده می‌کنید که در آنها انرژیهای پتانسیل و جنبشی به یکدیگر تبدیل می‌شوند. مثلا سنگی را که با سرعتی درراستای قائم به‌طرف بالا پرتاب می‌کنید در لحظهٔ پرتاب دارای اندازهٔ معینی انرژی جنبشی است. وقتی که به‌اوج مسیرخود می‌رسد، درصورتی که اصطکاك مولکولهای هوا بر روی آن ناچیز باشد، تمام انرژی جنبشی آن به انرژی پتانسیل جاذبه‌ای تبدیل‌می گردد. چون سنگ ازنقطهٔ اوج به‌سطح‌زمین بر می‌گردد انرژی پتانسیل آن دوباره به‌انرژی جنبشی تبدیل می‌شود و لحظه‌ای که به مکان پرتاب اولیهٔ خود می‌رسد انرژی جنبشی پرتاب اولیهٔ خود را بازمی‌یابد.

این مثال ومثالهای دیگر نشان می‌دهد که اگر دریك جسم یا دریك دستگاه مرکب ازچند جسم، فقط انرژیهای پتانسیل‌وجنبشی به‌یکدیگر تبدیل‌شوندمیزان کاهش‌یکی ازآن دو، برابومیزان افزایش دیگری است به‌طوری که مجموع انرژی جنبشی و پتانسیل همواره ثابت می‌ماند (قانون بقای انرژی مکانیکی).

در اینجا باید دوباره یادآور شویم که در اغلب موارد، تمام‌انرژی مکانیکی که به‌یك دستگاه داده‌می‌شود به‌کارمفید تبدیل نمی‌گردد بلکه مقداری از آن در اثروجود اصطکاك به‌گرما تبدیل می‌شود. مثلا در محل‌کشیدن سوهان یااره همواره مقداری‌گرما تولید می‌شود؛ هنگامی‌که اتومبیل حرکت می‌کند لاستیك چرخهای آن داغ می‌شود. وقتی که گلوله‌ای به تنهٔ درختی برخورد می‌کند و درآن فرو می‌رود مقداری از انرژی جنبشی آن به‌گرما تبدیل می‌گردد و...

این مشاهدات و بسیاری مشاهدات دیگر نشان می‌دهندکه گرما نیز صورتی از انرژی است بنابراین اصل بقای انرژی مکانیکی، شامل انرژی گرمایی که ضمن تبدیل انرژیهای پتانسیل وجنبشی به‌یکدیگر تولید می‌شود نیزخواهد بود.

تبدیل صورتهای متفاوت انرژی به یکدیگر

دیدیم که‌هریك ازصورتهای‌انرژی می‌تواند‌اشیا را به حرکت درآورده وبه انرژی جنبشی تبدیل شود وآن نیز به‌نوبهٔ خود به‌انرژی پتانسیل وگرما تبدیل گردد. بنابراین خاصیت مهم انرژی قابلیت تبدیل آن ازصورتی به‌صورت دیگراست. به‌عنوان مثال‌تولید انرژی الکتریکی و مصرف آن را بررسی می‌کنیم:

انرژی پتانسیل شیمیایی نهفته درسوخت، هنگام سوختن‌به‌انرژی گرمایی‌تبدیل می‌شود. انرژی گرمایی حاصل، صرف تبخیر آب و افزودن انرژی جنبشی مولکولهای آب می‌گردد. انرژی جنبشی موجود در مولکولهای بخار، توربین بخار را می‌چرخاند و توربین به‌نوبهٔ‌خود مولد جریان برق را به‌حرکت در می‌آورد و بدین ترتیب انرژی مکانیکی تبدیل به انرژی الکتریکی می‌شود. انرژی الکتریکی درلامپ الکتریکی ولامپ تصویر تلویزیون به‌انرژی نورانی، در موتور الکتریکی به‌انرژی جنبشی، در بخاری و اتوی الکتریکی به انرژی گرمایی و در گرامافون و رادیو به‌صوت که‌آن نیز انرژی مکانیکی است تبدیل می‌شود.

برای‌این‌که ازصورتهای مختلف‌انرژی وتبدیل آنها به‌یکدیگر بهتراستفاده شود، دانشمندان اسبابها ووسایل لازم را برای تبدیل‌انرژی مورد نظراختراع کرده‌اند.

پرسش ۷-۱۳ـ چه مبادله‌های انرژی صورت می‌گیرد تا انرژی تابشی خورشید درمولدهای ئیدروالکتریک به انرژی الکتریکی تبدیل شود؟

تعمیم قانون بقای انرژی

آیا قانون بقای انرژی که دربارهٔ انرژیهای پتانسیل وجنبشی وگرمایی بیان شد درمورد انرژیهای دیگر نیز صادق است؟

آزمایشهای دقیقی که در چندقرن اخیر صورت گرفته است به‌این سؤال پاسخ مثبت می‌دهد. مثلا اگر یك لیتر بنزین در موتور اتومبیل بسوزد انرژی شیمیایی موجود در آن تبدیل به‌انرژی گرمایی می‌شود. قسمتی از این انرژی گرمایی به‌صورت انرژی جنبشی صرف به حرکت در آوردن اجزای متحرك موتور می‌گردد و قسمت دیگر به‌صورت گرما در گازهای خروجی(دود)وخود موتورباقی می‌ماند به‌طوری که مجموع انرژی جنبشی و گرمای باقی مانده برابر انرژی شیمیایی اولیهٔ بنزین است. یعنی هنگامی که انرژی ازیك صورت به‌صورت دیگرتبدیل می‌گردد اندازهٔ آن کم یا زیاد نمی‌شود. این خاصیت، چنان که‌می‌دانید، به‌عنوان قانون بقای‌انرژی به‌صورت زیر بیان می‌شود:

انرژی به‌خودی خود به وجود نمی‌آید و نابود هم نمی‌شود بلکه ازصورتی به‌صورت دیگرتبدیل می‌گردد.

قانون بقای ماده وانرژی

از مدتها پیش شیمی‌دانها براساس مشاهدات و آزمایشهای‌خود قبول کرده بودند که‌ماده نیزازقانونی مانند قانون بقای انرژی پیروی می‌کند بدین‌معنی که در واکنشهای شیمیایی ماده ازصورتی به‌صورت دیگر تبدیل می‌شود ولی اندازهٔ آن تغییر نمی‌کند. این پدیده را قانون بقای ماده نامیده‌اند.

در آغاز قرن بیستم میلادی آلبرت اینشتین (۱۹۵۵-۱۸۷۹ میلادی) برای نخستین بار، رابطهٔ بین ماده وانرژی را بیان‌کرد. او خاطرنشان ساخت که ماده وانرژی قابل تبدیل به یکدیگرند و جرم هر جسم درواقع معرف انرژیی است که درآن جسم نهفته است. رابطهٔ اینشتین که امروزنیزدارای اهمیت زیادی است به صورت زیر بیان می‌شود:

$$E = mc^2$$

این رابطه نشان می‌دهد که اگر پاره‌ای از ماده به جرم m به‌انرژی تبدیل شود، انرژی حاصل برابر خواهد بود با حاصل ضرب جرم m درمجذور سرعت انتشار نور. (c نمایش سرعت انتشارنور در خلاً است.)

مثلادرواکنشهای‌هسته‌ای که دررآکتورها صورت می‌گیرد[1]، جرم کل اتمها و ذره‌هایی که از شکافت (فیسیون) هر اتم اورانیم حاصل می‌شود درست برابر جرم اتم اورانیم اولیه نیست بلکه مقدارخیلی کمی از آن به‌صورت انرژی‌گرمایی وانرژی تابشی و انرژی جنبشی پاره‌های حاصل ازفیسیون درمی‌آید.

۱ــ به‌بخش ۴ کتاب علوم ۳ دورهٔ راهنمایی تحصیلی مراجعه کنید.

پرسش۷—۱۴ـ درواکنشهای شیمیایی گرمازا، انرژی گرمایی ازچه تولید می‌شود؟

بنابراین به‌جای بیان دوقانون جداگانهٔ بقای انرژی و بقای ماده، باید قانون بقای ماده وانرژی را در نظر بگیریم بدین معنی که: مجموع ماده و انرژی موجود در جهان همواره ثابت است.

خودتان آزمایش کنید

مزیت مکانیکی کامل قرقرهٔ ساده یـا دستگاه قرقرهٔ مرکب را که در اختیار دارید با شمردن تعـداد شاخه‌های طناب که وزن باررا تحمل می‌کنند حساب کنید سپس وزنهٔ معینی‌را به‌قلاب آن بیاویزید وبا نیروسنج نیروی لازم را که برای بالابردن وزنه لازم است اندازه بگیرید ومزیت مکانیکی واقعی دستگاه را معین کنید واین دو مزیت مکانیکی را با هم مقایسه کرده وعلت اختلافی را که مشاهده می‌کنید توضیح دهید.

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) درچه صورت نیروی وارد بریك جسم کار انجام می‌دهد وچگونه کار اندازه گرفته می‌شود؟

۲) چگونه کار نیروی جاذبه را به هنگام سقوط یك جسم معین می‌کنید؟

۳) حالتی‌را شرح دهیدکه درآن باآن‌که نیروی جاذبه برجسم اثرمی‌کنداین نیرو کار انجام‌نمی‌دهد.

۴) یك قرقرهٔ سادهٔ ثابت کدام عمل را انجام می‌دهد؟

الف ـ نیروی محرك را چندبرابر می‌کند؛

ب ـ راستای نیرو را تغییر می‌دهد؛

ج ـ تغییرمکان نیروی محرك را چند برابر می‌کند.

۵) شکلی ازیك دستگاه قرقرهٔ مرکب کـه سه‌قرقرهٔ ثابت وسه قرقرهٔ متحرك دارد چنان نمایش دهیدکه:

الف ـ دستگاه دارای مزیت مکانیکی کامل ۶ باشد.

ب ـ دستگاه دارای مزیت مکانیکی کامل ۷ باشد.

۶) برای بالابردن بار ۶۰۰ نیوتنی چه نیرویی باید درهریك ازحالتهای زیر وارد سازیم؟

الف ـ هرگاه یك قرقرهٔ ثابت به‌کار بریم؛

ب ـ هرگاه دستگاه قرقرهٔ مرکب از دو قرقرهٔ ثابت ویك قرقرهٔ متحرك به‌کار بریم.

۷) قانون‌کار را درمورد ماشینهای کامل بیان کنید.

۸) دانش‌آموزی نتایج یك آزمایش را که به وسیلهٔ قرقره‌ها درآزمایشگاه انجام داده بود به شرح زیر به معلم خود گزارش داد:

نیروی محرك $E = ۱/۱N$ نیروی مقاوم $R = ۲N$

تغییرمکان نقطهٔ اثر نیروی محرك $۰/۲m$ تغییرمکان نقطهٔ اثر نیروی مقاوم $۰/۱۲m$

ولی معلم روی گزارش او نوشت: غیرممکن است! و گزارش را به او برگرداند. معلم چگونه تشخیص داد که دانش‌آموز اشتباه کرده است؟

۹) پسری یك جسم‌را درسطح کف اتاق به‌وسیلهٔ طنابی که باسطح کف‌اتاق زاویه می‌سازد بانیروی ۱۰۰ نیوتن ۲ متر جابه‌جا کرده است. توضیح دهید چرا کاری را که پسر برای کشیدن جسم درکف اتاق انجام داده است کمتر از ۲۰۰ ژول است

۱۰) چرا مزیت مکانیکی ماشینهای واقعی همواره ازمزیت مکانیکی ماشینهای کامل کوچکتر است؟

قانون کار را درماشینهای واقعی بیان کنید.

۱۱) تعریف توان چیست وبا چه واحدی اندازه گرفته می‌شود؟

۱۲) دوآسانسور به وزن مساوی در ساختمانی نصب شده‌اند وهریك با موتوری جداگانه کار می‌کند ولی توان یکی ازموتورها دوبرابر دیگری است. هردو آسانسور ازسطح طبقهٔ هم‌کف (سطح زمین) به راه می‌افتند وبه بالاترین طبقهٔ ساختمان می‌روند.

الف ــ کار موتورهای دوآسانسور را دراین جابه‌جایی با هم مقایسه کنید.

ب ــ مدت حرکت دوآسانسور را دراین جابه‌جایی با هم مقایسه کنید.

۱۳) بازده یك ماشین یعنی چه؟ اگر بازده ماشینی ۷۵ درصد باشد چه بخشی ازکار ماشین صرف غلبه براصطکاك می‌شود؟

۱۴) انرژی پتانسیل وانرژی جنبشی را تعریف کنید. انرژیهای جنبشی وپتانسیل با چه واحدی‌اندازه‌گیری می‌شوند؟

۱۵) در آونگی که نوسان می‌کند چگونه انرژی پتانسیل وانرژی جنبشی به یکدیگر تبدیل می‌شوند؟ چرا دامنهٔ نوسان آونگ به‌تدریج کم می‌شود وآونگ کم کم می‌ایستد؟

۱۶) چهار تبدیل انرژی را دریك نیروگاه برق که در آن نفت برای سوخت مصرف می‌شود بیان کنید.

۱۷) قانون بقای انرژی وقانون بقای ماده وانرژی‌را بیان کنید.

این مسئله‌ها را حل کنید

۱) پسری که وزنش ۴۵۰ نیوتن است ازیك طناب قائم تا ارتفاع ۶ متر بالا می‌رود. این پسر چند

ژول کار انجام می‌دهد؟

۲) برای کشیدن یك جسم به وزن ۲۵۰ نیوتن روی کف اتاق، نیروی افقی ۲۵ نیوتن لازم است. اگر این جسم ۲ متر روی کف اتاق جابه‌جا شود چند ژول کار انجام می‌گیرد؟

۳) مردی ماشین چمن‌زنی را ۱۰ متر به طرف جلو می‌راند و دراین جابه‌جایی نیروی ۵۰ نیوتن روی دستهٔ ماشین وارد می‌سازد. اگر دستهٔ ماشین زاویهٔ ۴۵° با سطح افقی زمین بسازد مرد چند ژول کار برای راندن ماشین انجام می‌دهد؟

۴) درماشینی هر گاه نقطهٔ اثر نیروی محرك ۲۴متر جابه‌جا شود نقطهٔ اثر نیروی مقاوم ۲ متر جابه‌جا می‌شود.

الف ـ مزیت مکانیکی کامل این ماشین چه اندازه است؟

ب ـ چه نیرویی لازم است تا به وسیلهٔ این ماشین بار ۳۰۰ نیوتنی به حرکت درآید؟

ج ـ اگر بازده این ماشین ۸۰ درصد باشد نیروی لازم برای حرکت دادن بار نامبرده چه اندازه است؟

۵) هواپیمایی به وزن 10^5 نیوتن در هر ثانیه می‌تواند به طور متوسط ۳۵ متر اوج بگیرد. توان متوسط موتور این هواپیما چند کیلووات است؟

۶) اتومبیلی با سرعت ۴۵ کیلومتر برساعت درحرکت است.

الف ـ سرعت آن را برحسب متر بر ثانیه حساب کنید.

ب ـ چه‌سرعتی باید داشته باشد تا:

I ـ اندازهٔ حرکت آن ۲ برابر شود؛ II ـ انرژی جنبشی آن دوبرابر شود.

۷) مردی می‌خواهد باری به جرم ۴۰ کیلوگرم را به درون کامیونی که کف آن ۱٫۶ متر از سطح زمین بالاتر است برساند و برای این‌منظور ازتختهٔ الواری که رویهٔ آن صیقلی است مانند سطح شیب‌دار استفاده می‌کند. وقتی که بار به درون کامیون برده می‌شود انرژی پتانسیل آن چه اندازه افزایش می‌یابد؟ به اختصار توضیح دهید که کار چگونه انجام می‌گیرد و چرا نیروی لازم برای بالابردن بار، بستگی به زاویهٔ تختهٔ الوار با سطح افقی زمین دارد؟

۸) دریك ماشین چرخ و محور، قطر چرخ ۲۰ سانتیمتر و قطر محور ۸ سانتیمتر است. اگر بازده ماشین ۵۰ درصد باشد چه نیرویی لازم است تا بار ۲۵۰ نیوتنی توسط این ماشین بالابرده شود؟

۹) گلولهٔ تفنگی به جرم ۵۰ گرم با سرعت ۴۰۰ متر بر ثانیه پرتاب می‌شود. انرژی جنبشی آن در لحظهٔ پرتاب چند ژول است؟

۱۰) هر گاه یك گرم ماده به طور کامل به انرژی تبدیل شود چند کیلووات ساعت انرژی به‌دست می‌آید؟

پاسخ به پرسشهای متن

۷-۱) قسمتی ازاین انرژی صرف کشیدن یا فشردن ماهیچه‌های بدن می‌شود و قسمت دیگر به مصرف تولید گرما دراثر اصطکاک دست یا سنگ می‌رسد.

۷-۲) به صورت انرژی پتانسیل درخود جسم ذخیره می‌گردد.

۷-۳) $۶۵ \times ۹/۸ = ۶۳۷N$ = نیرویی که شخص باید برای غلبه برجاذبه وارد سازد

$۴m$ = جابه‌جایی نقطهٔ اثر نیرو در راستای نیرو

$۶۳۷N \times ۴m = ۲۵۴۸J$ = کاری که شخص برای غلبه بر نیروی جاذبه انجام می‌دهد

۷-۴) باید مؤلفهٔ نیرو را در راستای جابه‌جایی جسم تعیین و دراندازهٔ جابه‌جایی ضرب کرد. مثلا درشکل ۵-۵ تمام نیروی R که بردستهٔ ماشین چمن‌زنی وارد می‌شود صرف راندن ماشین به طرف جلو نمی‌گردد بلکه فقط مؤلفهٔ افقی P است که ماشین را به جلو می‌راند وهنگام جابه‌جاشدن ماشین روی سطح افقی، کار انجام می‌دهد.

۷-۵) مزیت مکانیکی دوچرخه کوچکتر از ۱ است زیرا نیروی مقاوم R که درواقع اصطکاک بین چرخ و زمین است از نیروی محرک E که به وسیلهٔ پابرکاب دوچرخه وارد می‌شود همواره کوچکتر است.

۷-۶) نه. بااستفاده از دستور متوازی‌الاضلاع به‌آسانی معلوم می‌شود که نیروی وارد برهر شاخهٔ طناب دراین حالت بزرگتر از نصف وزن جسم است.

۷-۷) دراین مثال (شکل ۷-۵) نیروی مقاوم برابر با $R = ۲۵۰۰N$ ونیروی محرک برابر با $E = ۵۰۰N$ است. بنابراین مزیت مکانیکی سطح شیبدار برابر است با:

$$A = \frac{R}{E} = \frac{۲۵۰۰}{۵۰۰} = ۵$$

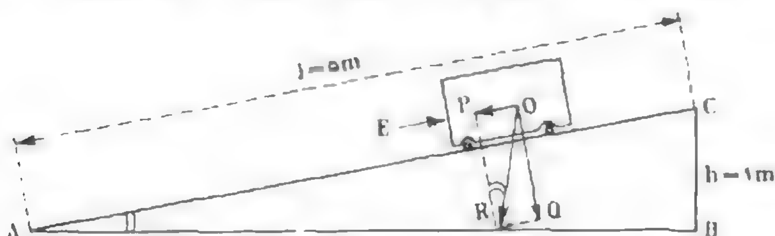
باتوجه به شکل ۷-۱۱ وبا مراجعه به شکل ۵-۶ می‌توان نیروی مقاوم R را به دو مؤلفهٔ عمود برهم P و Q تجزیه کرد. درصورتی که اصطکاک سطح ناچیز باشد بزرگی نیروی E درحال تعادل برابر بزرگی P ولی درجهت مخالف آن است. ازتشابه دومثلث قائم‌الزاویهٔ OPR و ABC نتیجه می‌شود:

$$\frac{P}{R} = \frac{E}{R} = \frac{h}{l}$$

یا

$$E.l = R.h$$

اما R.h برابر کار نیروی مقاوم R است وقتی که نقطهٔ اثر آن به اندازهٔ ارتفاع h بالا برود و به نقطهٔ C برسد و E.l برابر کار نیروی محرک E است وقتی که نقطهٔ اثر آن به اندازهٔ l ، روی سطح



شکل ۷-۱۱

شیب‌دار جابه‌جا بشود و به نقطهٔ C برسد. بنابراین درسطح شیب‌دار نیز قانون کار صادق است یعنی:

کار نیروی مقاوم = کار نیروی محرك

به ازای $E = ۵۰۰N$ و $l = ۵m$

کار نیروی محرك $= E.l = ۵۰۰N \times ۵m = ۲۵۰۰J$

وبه ازای $R = ۲۵۰۰N$ و $h = ۱m$:

کار نیروی مقاوم $= R.h = ۲۵۰۰N \times ۱m = ۲۵۰۰J$

دراینجا باز یادآور می‌شویم که درعمل به علت وجود اصطکاك، کار نیروی محرك E بزرگتر ازکار نیروی مقاوم R است.

۷-۸) انبردست اهرم مضاعف نوع اول، فندقشکن اهرم مضاعف نوع دوم وقندگیر اهرم مضاعف نوع سوم است. (توضیح دهید چرا؟)

۷-۹) فرض می‌کنیم دستگاه چرخ ومحور یك دور بچرخد دراین صورت:

کاری‌که نیروی محرك E دریك دور چرخیدن چرخ انجام می‌دهد $= E \times ۲\pi\, r_E$

کاری‌که نیروی مقاوم R دریك دور چرخیدن محور انجام می‌دهد $= R \times ۲\pi\, r_R$

در دستگاه چرخ ومحور کامل:

کار نیروی مقاوم = کار نیروی محرك

بنابراین:

$$E \times ۲\pi\, r_E = R \cdot ۲\pi \cdot r_R$$

یا

$$E \cdot r_E = R \cdot r_R$$

مزیت مکانیکی برابر است با:

$$A = \frac{R}{E} = \frac{r_E}{r_R}$$

۷-۱۰) کل نیروی محرك برابر است با

$$۵۰۰ + ۲۵۰ = ۷۵۰N$$

بنابراین مزیت مکانیکی برابر است با:

$$A = \frac{۲۵۰۰}{۷۵۰} = \frac{۱۰}{۳} \simeq ۳/۳$$

۷-۱۱) متداولترین اسباب برای استفاده از انرژی موجود درباد، آسیاب بادی وقایق بادی است.

۷-۱۲) انرژی پتانسیل حالتی که دراثر تغییرشکل فنر درآن ذخیره می‌شود.

۷-۱۳) بخشی از انرژی تابشی خورشیدکه توأم با انرژی گرمایی است برسطح آب دریا می‌تابد و سبب افزایش انرژی جنبشی مولکولهای آب وتبخیر آب می‌شود. آب تبخیر شده پس ازیك رشته مبادلهٔ انرژیهای پتانسیل وجنبشی وگرمایی به صورت منبع عظیمی‌پشت سدها ذخیره می‌شودکه دارای انرژی‌پتانسیل است. انرژی پتانسیل آب هنگام ورود به توربین دوباره به انرژی جنبشی تبدیل می‌گردد و دستگاه مولد برق را می‌چرخاند وقسمتی ازآن دراین مولد به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود.

۷-۱۴) بخش خیلی کوچکی ازماده به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود



فشار درون مایعات و گازها

کلمهٔ «فشار» را بدون آن که دربارهٔ معنی درست آن بیندیشیم اغلب به‌کار می‌بریم. مثلاً پیش از آن‌که با اتومبیل به مسافرت برویم فشار باد لاستیکهای آن را بازدید می‌کنیم ولی هنگام این بازدید به یك قانون علمی نمی‌اندیشیم بلکه این کار را برای حفظ جان خود ودیگران انجام‌می‌دهیم. بخارآب درون دیگهای بخاردارای «فشار» است و«فشار-سنج» اندازهٔ آن را نشان می‌دهد. در آشپزخانهٔ منزل، دیگ زودپز که یك «دیگ فشاری» است نیز به‌کار می‌رود. هوا و آب بر اجسامی که درون آنها قراردارند «فشار» وارد می‌آورند و مانند اینها ...

فشارهایی‌راکه ازآنها نام بردیم به‌کمك دانش فیزیك به‌آسانی می‌توانیم اندازه بگیریم وبرای این‌منظور لازم است نخست معنی‌درست فشار را بدانیم.

مفهوم فشار

هرگاه‌روی برفی که تازه باریده‌است راه‌برویم پای ما در برف فرو می‌رود ولی اگر کفش اسکی به پای خود ببندیم مانع از این می‌شودکه پای ما در برف فرو رود. در صورتی که همان‌نیرو را که وزن بدنمان است برروی برف‌وارد می‌سازیم. علت این‌است که در این حالت نیرو برروی سطح بزرگتری پخش می‌شود.

پرسش ۸-۱- اگر وزن بدن پسری ۵۰۰ نیوتن و سطح‌کف پایش ۲۵۰سانتیمترمربع باشد هر سانتیمتر مربع از کف پاهای این پسر به‌طور متوسط چه اندازه از وزن تن اورا تحمل می‌کند و اگر یك جفت‌کفش اسکی که هریك ۱۵۰ سانتیمترطول و ۱۰ سانتیمترعرض دارد به‌پاهای خود ببندد در این حالت بر هرسانتیمترمربع ازکف این‌کفشها به طور متوسط چه نیرویی وارد می‌شود؟

نیرویی‌که به طور عمودی بر واحد سطح وارد می‌گردد «فشار» نامیده می‌شود.

بنابراین اگر نیروی F به‌طور عمودی ویکسان برسطحی به‌مساحت A وارد شود اندازهٔ نیروی‌واردبر واحد سطح، یعنی «فشار»، برابراست با:

$$P=\frac{F}{A} \quad (۸-۱)$$

واحد فشاردردستگاه بین‌المللی واحدها «نیوتن برمترمربع» است که پاسکال (با علامت اختصاری Pa) نیز نامیده می‌شود. بنابراین

$$P_{(Pa)}=\frac{F_{(N)}}{A_{(m^2)}} \quad (۲-۸)$$

گاهی نیروی کوچکی می‌تواند فشار بزرگی تولید کند. مثلاً فشاری که یك سوزن گرامافون بر روی صفحه وارد مـی‌سازد ممکن است خیلی بـزرگتر از فشاری باشد که یـك ساختمان بـر سطح زمین وارد می‌آورد.

وقتی که کارد تیزی را به کار می‌بریم نیروی بزرگی برای بریدن لازم نیست زیرا نظر به کوچکی سطح لبهٔ برنده؛ آن با نیرویی کم فشار زیادی را تولید می‌کند.

پرسش ۸ـ۲ ـ چه تدبیری باید به کار برد تا باوجود بزرگی نیرو میزان فشار کم شود؟

فشار هوا

می‌دانید ما، روی زمین، در دریـر اقیانوسی از هوا زندگی می‌کنیم که اتمسفر یا جوّ نامیده می‌شود و بـه علت وزنی که دارد فشاری در حـدود یك کیلوگرم نیرو برهر سانتیمتر مـربع از سطح زمین وارد می‌سازد. این فشار بر هر متر مـربع از سطح زمین تقریباً 10^4 کیلوگرم نیروست زیرا هـر متر مربع 10^4 سانتیمتر مربع است. اگر به‌خاطر داشته باشید که هر کیلوگرم نیرو معادل ۹٫۸ نیوتن (تقریباً ۱۰ نیوتن) است فشار هوا درحدود $10^5 N/m^2$ خواهد بود.

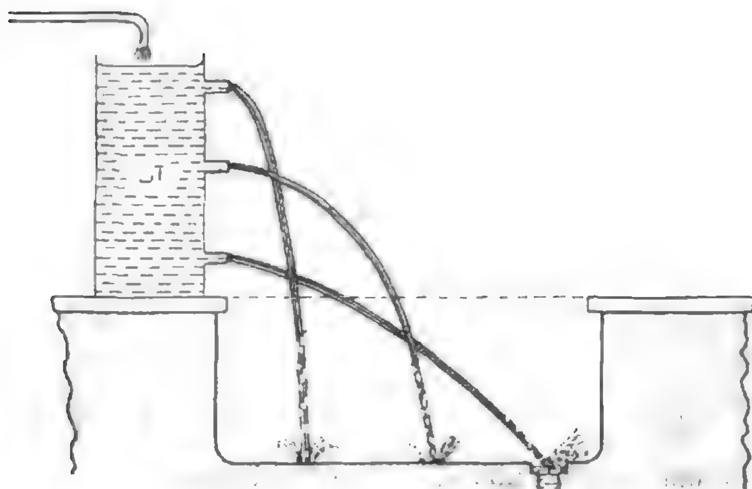
فشار هوا نه‌تنها بـر سطح زمین وارد می‌شود بلکه برسطح هرجسمی هم که در روی زمین موجود است، از جمله بدن خودما، نیز وارد می‌گردد. اگر سطح بدن شخصی به‌طور متوسط ۲ متر مربع بـاشد کل نیرویی کـه از طرف هوا برسطح بـدن او وارد می‌شود در حـدود ۲۰۰٫۰۰۰ نیوتـن (۲۰٫۰۰۰ کیلوگرم نیرو) است. ولی وی این نیروی بزرگ‌را حس نمی‌کند، زیرا درون بدن، خون نیزفشاری کمی بیشتر از فشار هوا دارد که اثر فشار هوا راخنثی می‌کند. بافتهای بدن در این فشار تشکیل می‌شوند، رشد می‌کنند و بااین فشارسازش می‌یابند. هرگاه فشار محیط بیش ازحدکم شود، مایعات درون بدن خارج‌و بافتهای بدن متلاشی می‌شوند. به‌همین دلیل‌فضانوردان در فضای خارج از جو مجبورند لباسهایی مخصوص بپوشند.

تا قرن هفدهم میلادی نمی‌دانستند که هوافشار دارد و مردم آن زمان اثرهای فشارهوا را با تئوری «طبیعت از خلأ تنفر دارد»، توجیه می‌کردند. مثلاً درمورد آزمایش معمولی مکیدن هوای درون یك‌بطری و بیرون هوا، پس از مکیدن، برای پرکـردن آن، می‌گفتند که چون‌طبیعت نمی‌تواند جای‌خالی راتحمل کند هوا دوباره به‌جای خود بر می‌گردد. ولی‌امروز ما می‌گوییم اختلاف فشارهوای بیرون و درون‌بطری سبب جریان مولکولهای هوا به درون بطری می‌شود تا این‌که فشار هوای درون و بیرون‌آن برابر گردد.

پرسش ۸ـ۳ ـ چرا هنگامی که هوای درون یك قوطی حلبی بزرگ را خالی می‌کنید قوطی درهم فرو می‌رود؟

فشار درون مایعات

مایعات، مانند هوا، برهرسطح درون خود نیز فشار وارد می‌آورند. دربخش ۱ دیدید که فشار وارد



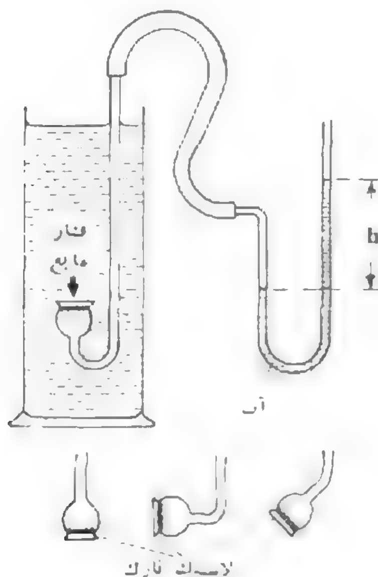
شکل ۸-۱- فشار درون مایع با عمق آن افزایش می‌یابد.

بر یک سطح درون مایع به علت وزن ستونی از مایع است که بالای این سطح قرار دارد؛ بنابراین، با افزایش عمق مایع افزایش می‌یابد. این خاصیت را می‌توانید به وسیلهٔ ظرف بلند و پر از آبی که در بدنهٔ آن لوله‌های کوتاهی در ارتفاعهای متفاوت نصب شده است (شکل ۸-۱) آزمایش کنید. سرعت خروج آب از لولهٔ پایینی بیشتر است و نشان می‌دهد که فشار در عمق مایع بیشتر است. برای این‌که فشار خروج آب در مدت آزمایش تغییر نکند باید سطح آزاد آب در ظرف ثابت بماند. بنابراین میزان ورود آب را به ظرف طوری باید تنظیم کنید که برابر میزان خروج آب از آن باشد.

از طرف دیگر فشار در هر نقطهٔ درون مایع ساکن در تمام راستاها به طور یکسان وارد می‌شود زیرا در غیر این صورت مولکولهای مایع از طرفی که فشار بیشتر است به طرفی که فشار کمتر است حرکت می‌کنند.

پرسش ۸-۴ — آیا این خاصیت در گازها نیز وجود دارد؟

این خاصیت را می‌توان به وسیلهٔ اسباب شکل ۸-۲ نشان داد. در این شکل چند قیف را می‌بینید که با زاویه‌های مختلف کج شده‌اند و دهانهٔ آنها با



شکل ۸-۲- درون مایع فشار در تمام راستاها وارد می‌شود

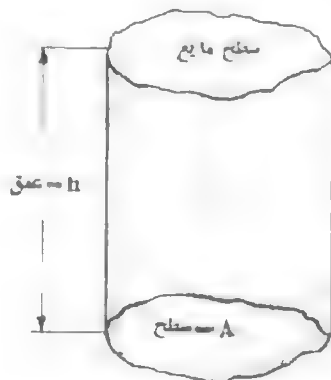
لاستیك نازك بسته شده است. هریك از این قیفها را می‌توان با لولهٔ لاستیکی به‌لولهٔ U مانندی که درآن قدری آب ریخته شده است متصل کرد. اگر روی لاستیك دهانهٔ قیف با دست فشار وارد آوریم هوای درون قیف متراکم می‌شود و فشار را به آب درون لولهٔ U منتقل می‌کند و آب را در شاخهٔ آزاد این لوله بالا می‌راند.

پرسش ۸–۵ ـ به نظر شما فشار چگونه از هوای درون قیف به‌آب درون لولهٔ U منتقل می‌شود؟

این اسباب را می‌توانیم برای نشان دادن (به‌اندازه گرفتن) فشار درون مایعات به‌کار بریم. هر کدام از قیفها را که به لولهٔ لاستیکی وصل کنیم ودر آب فروبریم لولهٔ U فشاری را نشان می‌دهدومعرف این است که فشار در همهٔ راستاها وارد می‌شود.

برآورد فشار درون مایع

سطحی افقی به مساحت A در عمق h از سطح آزاد مایعی که جرم حجمی آن ρ است در نظر می‌گیریم (شکل ۸–۳).



شکل ۸–۳– فشار یك ستون‌مایع.

روی این سطح ستونی از مایع به‌حجم $A \cdot h$ قرار دارد که جرم آن (جرم‌حجمی × حجم) برابر است با:

$$m = Ah \cdot \rho$$

بدیهی است نیرویی که از طرف مایع بر سطح A وارد می‌شود برابر وزن این ستون مایع است و چنان‌که می‌دانید وزن یك جسم به‌جرم m برابر است با mg.

پس: $Ah\rho \cdot g$ = نیروی وارد بر سطح A

با توجه به‌این‌که: $\frac{\text{نیرو}}{\text{سطح}}$ = فشار، اندازهٔ فشار مایع درعمق h چنین حساب می‌شود.

$$P = \frac{Ah\rho \cdot g}{A} = h\rho g \quad (۸\text{–}۳)$$

برای‌این‌که فشار P برحسب N/m^2 (پاسکال)حساب شود باید h برحسب متر و ρ برحسب کیلوگرم بر مترمکعب و $g = ۹/۸ N/kg$ باشد. مثلاً فشارستونی از جیوه به ارتفاع ۷۶ سانتیمتر و با جرم حجمی $۱۳۶۰۰ kg/m^3$ $(۱۳/۶ g/cm^3)$ برابر خواهد بود با:

$$P = ۰/۷۶ m \times ۱۳۶۰۰\, kg/m^3 \times ۹/۸ N/kg$$
$$\simeq ۱/۰۱۳ \times ۱۰^5 N/m^2$$

توجه به‌این نکته مهم است که فشار درون‌مایع بستگی به‌مساحت A ندارد بلکه فقط بستگی به عمق و جرم حجمی مایع دارد.

پرسش ۸–۶ـ در چه نقاطی درون مایع فشار یکسان است؟

فشاری که بدین ترتیب حساب شد فقط فشار مایع است. چون هوا نیز برسطح‌آزاد مایع فشار وارد می‌آورد اگر بخواهیم فشار کل را دریك نقطهٔ درون مایع حساب کنیم باید به‌فشار مایع فشار هوا را نیز بیفزاییم. یعنی.

(۸-۴)

فشارهوا + فشارمایع = فشار کل درون مایع

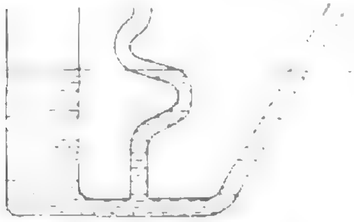
$$P = h\rho g + p_0 \qquad (۸-۴)$$

سطح آزاد مایع ساکن همواره افقی است

اگر در یک ظرف، مایعی به‌حال سکون باشد فشار آن بر تمام نقاطی که دریک سطح افقی هستند به یک اندازه است.

پرسش ۸-۷- چرا گفتهٔ بالا درست است؟

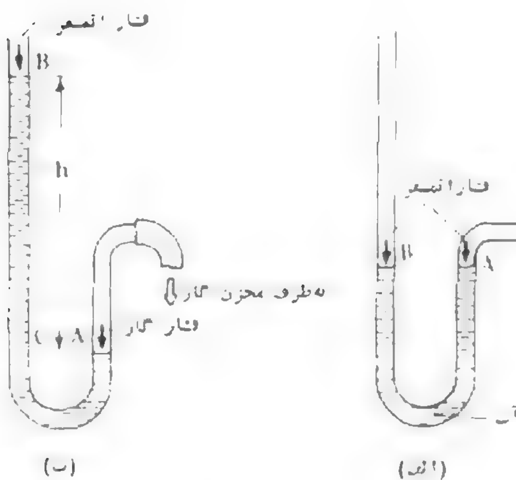
به همین جهت اگر آب یا مایع دیگری را در ظرفهایی که مانند شکل ۸-۴ بهم پیوسته‌اند بریزیم شکل ظرف هرچه باشد سطح آزاد مایع درتمام آنها یک سطح افقی خواهد بود. در حالتی‌که سطح آزاد مایع با هوا در تماس باشد (و اغلب چنین است) ، فشار وارد بر نقاط این سطح فقط فشار اتمسفر است. این خاصیت را می‌توانیم در ساختن فشار سنج به کاربریم و با آن فشار گازها را اندازه بگیریم.



شکل ۸-۴- در ظرفهای بهم پیوسته سطح آزاد مایع ساکن همواره افقی است.

اندازه‌گیری فشار گازها

گفتیم که فشارهوا درحدود 10^5 نیوتن برمتر مربع است. پیش از آن‌که به‌شرح چگونگی اندازه‌گیری آن بپردازیم یک نوع فشارسنج را، که برای اندازه‌گیری فشار گازها (هنگامی که فشارشان کمی بیش از فشار هواست) به‌کار می‌رود، شرح می‌دهیم. این فشارسنج از یک لوله به‌شکل U درست شده که محتوی آب است . وقتی که هر دوسر لوله باز است فشار هوا بر هر دوطرف لوله یکسان وارد می‌شود و سطح آب در A و B یکی است (شکل ۸-۵- الف) شاخهٔ طرف A را با یک لولهٔ لاستیکی به شیر مخزن گازی که می‌خواهند فشار آن را اندازه بگیرند متصل می‌سازند. وقتی‌که شیر مخزن باز شود گاز بر سطح A فشار وارد می‌آورد و آن را در لوله پایین می‌برد و در نتیجه، سطح B در شاخهٔ دیگر لوله بالا می‌رود (شکل ۸-۵-ب) تا این‌که فشاردر نقطهٔ C که



شکل ۸-۵- فشارسنج

باA همتراز است برابر با فشار در نقطهٔ A بشود. در این صورت

فشار ستون‌آب BC + فشار هوا = فشار گاز

فشارستون‌آب BC معرف اضافه فشار گاز از فشار اتمسفر است . اگر ارتفاع این ستون را به h نمایش دهیم اندازهٔ این اضافه فشار برحسب نیوتن‌بر متر مربع از رابطهٔ زیر حساب می‌شود:

$h\rho g$ = اضافه فشار گاز نسبت به‌فشاراتمسفر

گاهی این اضافه فشار را مستقیماً برحسب ارتفاع h بیان می‌کنند . در این صورت h برحسب میلیمتر آب (با علامت اختصاری $mm\ H_2O$) بیان می‌شود.

برای اندازه‌گیری فشارهایی بیشتر از فشار مثال بالا از جیوه (با جرم حجمی ۱۳٫۶ گرم بر سانتیمتر مکعب) وبرای اندازه‌گیری فشارهای کمتر از آن از مایعهای سبکتر مانند گزیلن[۱] (با جرم حجمی ۰٫۸۸ گرم بر سانتیمتر مکعب) استفاده می‌شود.

آزمایش توریچلی[۲] ـ هواسنج ساده

درحدود نیمهٔ قرن هفدهم میلادی یك دانشمند ایتالیایی به نام توریچلی آزمایشی را انجام دادکه تئوری «طبیعت ازخلأ تنفر دارد» را باطل می‌کرد . توریچلی معتقد بودکه تنفر فرضی طبیعت ازخلأ فقط به‌علت فشار اتمسفر است و وی آزمایش مشهور خود که به سال ۱۶۴۳ میلادی انجام گرفت نخستین هواسنج (بارومتر) را که برای اندازه‌گیری فشار هوا به‌کار می رود پایه‌گذاری کرد.

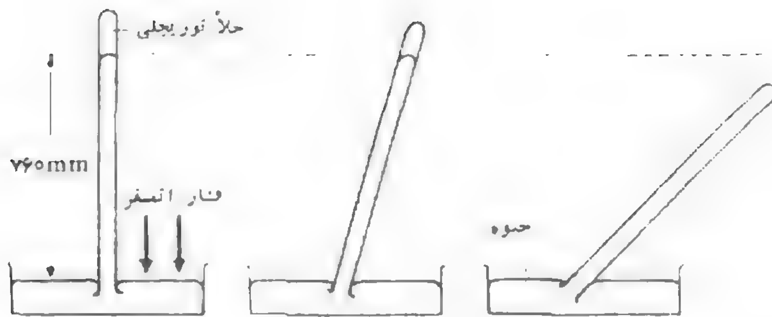
درآزمایشگاه می‌توانیدبا لولهٔ شیشه‌ای محکمی که طول آن درحدود یك متر و یك سر آن بسته است آزمایش توریچلی را انجام دهید و هواسنج ساده‌ای بسازید. لوله را به وسیلهٔ قیف‌کوچکی ازجیوهٔ تمیز کاملا پر کنید. نباید حبابهای هوا درون لوله باقی بماند.

پرسش ۸ ـ ۸ ـ چگونه می توان حبابهای ریزهوا را که بین جیوه وسطح جدار لوله باقی می‌ماندخارج کرد؟

سپس با انگشت دهانهٔ لوله را محکم ببندید و لوله را وارگون کنید و آن را در راستای قائم نگه دارید ودهانهٔ لوله را همان‌طورکه با انگشت گرفته‌اید در تشتکی که محتوی مقداری جیوه است فرو برید. وقتی که دهانهٔ لوله زیر سطح آزاد جیوه قرار گرفت انگشت را بردارید. جیوه در لوله پایین می‌آید و تا ارتفاع معینی می‌ایستد (شکل۸ـ ۶). این ارتفاع معرف فشارهوا در محلی است‌که آزمایش را انجام می‌دهید. درصورتی‌که لوله‌را از راستای قائم کج‌کنید سطح جیوه درلوله بالا می‌رود ولی ارتفاع قائم جیوه در لوله تغییر نمی‌کند. اگر لوله راخیلی‌کج کنید جیوه تمام آن را پرمی‌کندو بر ته‌آن فشار وارد می آورد.

توریچلی توضیح دادکه علت پایین نیامدن جیوه در لوله فشاری است‌که هوا برسطح جیوهٔ ددرون

۱ـ Xylene ۲ـ Torricelli



شکل ۸-۶- هواسنج ساده.

تشتک‌وارد‌می‌سازدوخاطر نشان‌ساخت که‌تغییرات‌جزئی که روزانه در ارتفاع ستون جیوه ظاهر می‌شود به سبب تغییراتی است که در فشار جو پدید می آید. فضای بالای جیوه در لوله خالی از هواست ولی خلأ مطلق نیست زیرا مقدار کمی بخار جیوه دراین فضا وجود دارد.

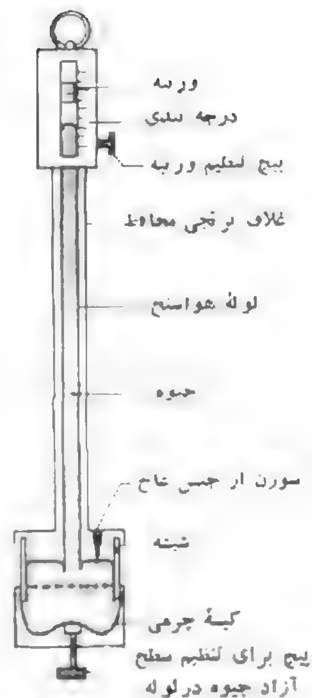
آزمایشهای پاسکال با هواسنج

پس از مرگ توریچلی، پاسکال آزمایشهای او را درفرانسه دنبال‌کرد. او دو هواسنج به‌کار برد: یکی‌را درپای‌کوهی قرارداد ودیگری را توسط‌شاگرد خود از دامنهٔ‌کوه بالا فرستاد وارتفاع ستون جیوه را درفواصل معین ازمسیر تعیین‌کرد. به ترتیبی که‌هواسنج ازکوه بالا برده می‌شد ارتفاع ستون جیوه در لولهٔ آن‌کاهش می یافت، درصورتی‌که ارتفاع جیوه درهواسنج پایین‌کوه تغییر نکرده بود. پاسکال علت کاهش ستون‌جیوه‌رادر لولهٔ هواسنج چنین توجیه‌کرد که فشار اتمسفر دراثر وزن آن است. به ترتیبی که هواسنج بالابرده می‌شود ارتفاع‌اتمسفر بالای هواسنج کم می گردد ودر نتیجه، فشار آن نیز کاهش می‌یابد.

آزمایش پاسکال آخرین آزمایشی بود که دربارهٔ سقوط تئوری «طبیعت ازخلأ تنفر دارد» انجام شد و این اصل جای‌آن را گرفت‌که «هوا فشاردارد».

اندازه‌گیری فشار هوا

شکل(۸ ــ ۷) هواسنج جیوه‌ای را نشان می‌دهدکه ارتفاع ستون جیوه درآن بادقت بیشتری‌اندازه گرفته می شود. لولهٔ این هواسنج با یك غلاف فلزی محافظت می‌شود و قسمت بالایی‌آن شیشه است تابتوان سطح آزاد جیوه‌را درلوله دید. ارتفاع ستون جیوه درلوله به‌وسیلهٔ یك ورنیه که مقابل درجه‌های میلیمتری حرکت می‌کند بادقت دهم میلیمترمعین می‌شود. برای این‌که هنگام بالا رفتن یا پایین‌آمدن جیوه درلوله، سطح آزاد جیوه درمخزن پایینی هواسنج ثابت بماند مخزن جیوه (به جای تشتکی که در هواسنج ساده به کار می‌رود) یك کیسهٔ چرمی کوچك است‌که کف‌آن با پیچی بالا وپایین برده می‌شود. پیش از خواندن درجه باید پیچ را طوری تنظیم‌کردکه سطح جیوه در این مخزن بانوك سوزنی که از جنس عاج است در تماس باشد. با این هواسنج فشارهوا برحسب میلیمتر



شکل ۸ - ۷ - هواسنج جیوه‌ای.

جیوه (mm Hg) اندازه گرفته می‌شود.

اندازهٔ متوسط ارتفاع ستون جیوه در لولهٔ هواسنج در سطح تراز دریا ۷۶۰ میلیمتر است. این فشار به نام «فشار استاندارد اتمسفر» یا فشار متعارف (با علامت اختصاری atm) به عنوان واحد فشار انتخاب شده است.

پرسش ۸ - ۹ _ اگر به جای جیوه، آب در هواسنج به‌کار می رفت ارتفاع ستون آب در لولهٔ هواسنج در سطح تراز دریا چه اندازه می‌شد؟

درهواشناسی دو واحد دیگر به کار می‌رود به نام «بار» (bar) و «میلی بار» (mbar). بنابه‌تعریف:

$$1\,bar = 10^5 N/m^2$$

$$1\,mbar = \frac{1}{1000}\,bar = 100 N/m^2 \text{ و:}$$

پرسش ۸ - ۱۰ _ یك اتمسفر چند نیوتن بر متر مربع وچند «بار» وچند «میلی بار» است؟

ارتباط فشار باغواصی وهوابیمایی

هنگامی که یك غواص درآب فرو می‌رود فشار وارد بر بدنش در هر ۱۰ متر تقریباً یك اتمسفر افزایش می‌یابد. لباس لاستیکی متداول غواصی مجهز به کلاهی است که در جلو صورت، پنجرهٔ گردی دارد وتوسط مخزن هوای متراکمی که به پشت غواص بسته می‌شود از هوا پر می گردد. غواص با این لباس می‌تواند تا عمق ۶۰ متری یعنی تاجایی که فشار درحدود ۷ اتمسفر است زیر آب برود و در این عمق مدت خیلی کوتاهی توقف کند. در عمق ۴۵ متری غواص نمی‌تواند بیش از حدود ۱۵ دقیقه کار کند زیرا به علت فشار زیاد، مقداری از نیتروژن (ازت) هوای تنفس در خون او حل می‌شود وموقعی که غواص به سطح آب برمی گردد حبابهای گاز نیتروژن درخون ظاهر می‌شوند (همچون حبابهایی که در یك بطری محتوی مایع گازدار به هنگام بازشدن در بطری ظاهر می گردد). این پیشامد سبب درد شدید وحتی مرگ می‌شود برای جلوگیری از بروز چنین پیشامدی غواص را پس از خروج از آب بی درنگ به درون محفظهٔ فولادی که محتوی هوای متراکم است می فرستند و فشار هوا را رفته رفته کم می کنند تا اینکه نیتروژن بدون تشکیل‌دادن حباب کم کم ازخون خارج شود. اگر گاز درون مخزنی که غواص برای تنفس به پشت خود حمل می کند به‌جای هوا مخلوطی از ۸ درصد اکسیژن و ۹۲ درصد هلیم باشد این خطر به‌میزان خیلی زیاد کاهش می‌یابد.

در مقابل مسئلهٔ غواصی مسئلهٔ دیگری برای کارکنان و مسافران هواپیماهایی که در بلندیهای زیاد پرواز می‌کنند پیش می‌آید و آن دشواری تنفس و خطرهای دیگری است که به سبب کاهش فشار هوا بروز می‌کند. ولی در هواپیماها این مسئله حل شده است زیرا تمام منفذهای هواپیما گرفته شده است و فشار درون آن به کمک تلمبه‌ها به میزان فشار طبیعی اتمسفر ثابت نگاه داشته می‌شود.

انتقال فشار در مایعات

درنظر بگیرید که یك سر میله‌ای را روی زمین قرار داده‌اید و به سر دیگر آن با دست فشار وارد می‌آورید. میله فشار دست شما را به زمین منتقل می‌کند ولی چون میله جامد و محکم است فشار را فقط دریك راستا (در اینجا از بالا به پایین) انتقال می‌دهد. اینك یك سر لولهٔ فلزی را با چوب پنبه ببندید و لوله را از آب کاملا پرکنید. اگر چوب‌پنبهٔ دیگری را در دهانهٔ باز لوله بگذارید و روی آن فشار وارد آورید چوب پنبهٔ اول به خارج پرتاب می‌شود، زیرا مایع درون لوله فشاری را که به یکی از چوب‌پنبه ها وارد می‌کنید به چوب‌پنبهٔ دیگر انتقال می‌دهد.

مایعات به آسانی متراکم نمی‌شوند و بدین سبب است که فشار را منتقل می‌کنند.

در بدنهٔ لوله چند سوراخ ریز ایجاد کرده و آزمایش را تکرار کنید. وقتی که چوب پنبه را به درون لوله می‌رانید آب از تمام سوراخها فوران می‌کند و این نشان می‌دهد که فشار وارد بر قسمتی از سطح یك مایع محدود (مایع موجود دریك ظرف) در همهٔ جهتها به نقاط دیگر انتقال می‌یابد.

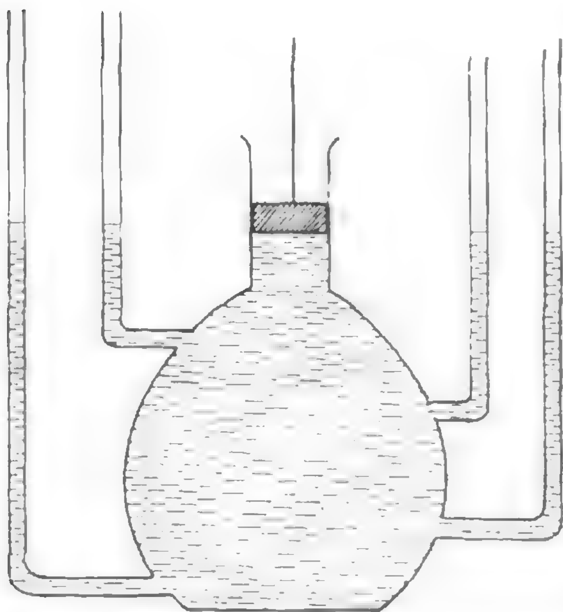
مایعات به این علت فشار را در همهٔ جهتها منتقل می‌کنند که مولکولهای آنها برخلاف مولکولهای جامدات آزادانه حرکت کرده به آسانی بر روی یکدیگر می‌لغزند.

واقعیت انتقال فشار درمایعات، نخستین بار به سال ۱۶۵۰ میلادی توسط پاسکال دانشمند فرانسوی شناخته شد و به نام «قانون انتقال فشار در مایعات» چنین بیان گردید:

فشاری که بر قسمتی از سطح یك مایع محدود وارد می‌شود به طور یکسان در همهٔ جهتها به تمام مایع منتقل می‌گردد.

شکل (۸ ـ ۸) اسبابی را نشان می‌دهد که با آن می‌توان قانون پاسکال را تحقیق کرد:

به بدنهٔ ظرفی چند لوله درجاهای مختلف نصب شده است. ظرف پر از آب است وسطح آزاد آب در



شکل ۸ ـ ۸ ـ تحقق قانون پاسکال.

همهٔ لوله‌ها یکی است. اگر به‌وسیلهٔ پیستونی ازقسمت استوانه‌ای شکل بالای ظرف برسطح آب فشار وارد آورند ، آب در همهٔ لوله‌ها به یك اندازه بالا می‌رود و نشان می دهد که فشار به طور یکسان به تمام نقاط مایع منتقل می‌گردد.

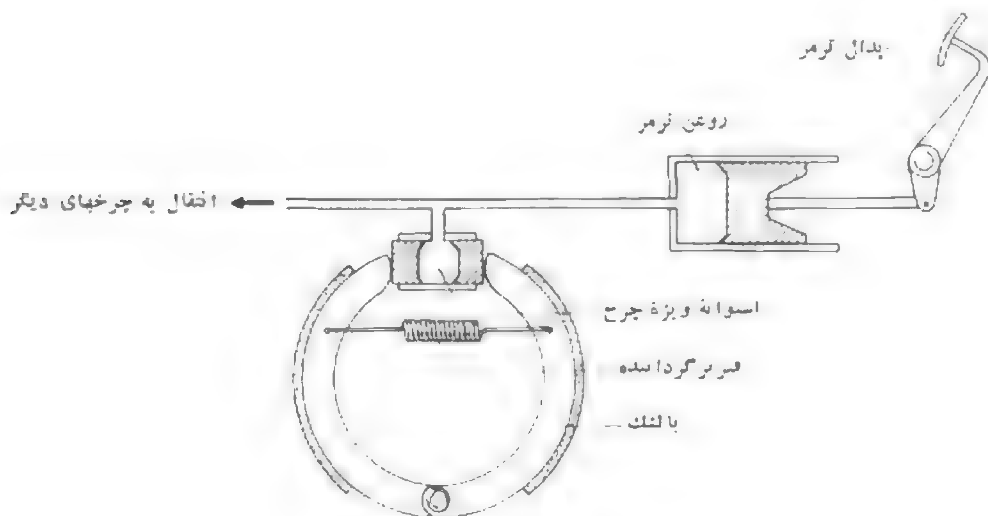
خاصیت انتقال فشار در مایعات چندکاربرد عملی در صنعت دارد و برای این که شما با کاربردها آشنا شوید دراینجا دو نمونه از آنها را که زیاد به‌کار می‌روند شرح می‌دهیم:

الف ــ ترمز روغنی ــ اغلب اتومبیلها و همهٔ اتوبوسها وکامیونها مجهز به ترمز (لکام) روغنی هستند که براساس انتقال فشار درمایع ساخته‌شده است. شکل (۸ ــ ۹) طرح ساده‌ای از این ترمز را نشان می دهد. بالشکهای ترمز به‌وسیلهٔ دوپیستون که درون استوانه‌ای مقابل یکدیگر قرار دارند از هم باز می‌شوند و این پیستونها به وسیلهٔ روغن که در استوانهٔ بزرگ اصلی توسط پدال ترمز تحت فشار قرار می گیرد حرکت می‌کنند. وقتی که فشار از روی پدال برداشته شود نیروی فنر ، بالشکها را به جای خود برمی‌گرداند و پیستونها درون استوانهٔ کوچك (استوانهٔ ویژهٔ چرخ) به عقب بر می گردند و روغن را به درون استوانهٔ بزرگ اصلی بر می‌گردانند.

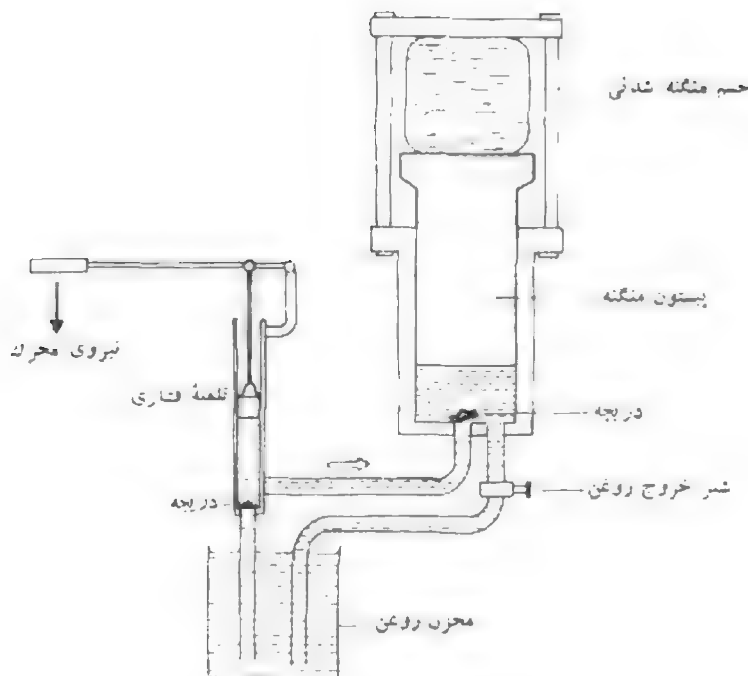
مزیت مهم ترمز روغنی این است که فشار را یکسان به هرچهارچرخ منتقل می‌کند.

ب ــ منگنهٔ آبی ــ منگنهٔ آبی ماشین ساده‌ای است که بر اساس انتقال فشار در مایعات ساخته شده است وکاربرد زیادی دارد، از جمله: فشردن موادنرم مانند پنبه‌و پاره‌های کاغذ به‌منظور بسته‌بندی ، شکل دادن به ورقه‌های فولادی برای ساختن بدنهٔ اتومبیل ومانند اینها.

شکل (۸ ــ ۱۰) طرح ساده‌ای از این منگنه را نشان می‌دهد که از استوانه وپیستونی به قطر بزرگ تشکیل شده است و توسط لوله‌ای به یك تلمبهٔ فشاری که قطر پیستون آن خیلی کوچکتر است ارتباط دارد. توسط این تلمبه، روغن ازیك مخزن به‌داخل استوانهٔ منگنه فرستاده می‌شود و در اثر فشار روغن، پیستون



شکل ۸ ــ ۹ ــ ترمز روغنی.



شکل ۸ - ۱۵ - طرح ساده‌ای از منگنهٔ آبی.

منگنه بالا می‌رود و پس از این‌که کار منگنه انجام شد با باز شدن شیری‌که در مسیر لوله برگرداننده روغن به مخزن قرار دارد ، روغن دوباره بـه مخزن بـرمی‌گردد و پیستون پایین می‌آید.

با یك حساب ساده می‌توانید نیرویی را که بر سطح پیستون منگنه وارد می‌شود به دست آورید:

اگر a نمایش سطح پیستون تلمبه و f نمایش نیروی وارد بر سطح این پیستون باشد فشار وارد بر سطح آن $\frac{f}{a}$ خواهد بود. این فشـار طبق قـانون پاسکال به سطح منگنه نیز منتقل می‌شود به طوری‌که اگر سطح پیستون منگنه A فرض شود نیـروی وارد بر سطح آن چنین حساب می‌گردد:

سطح × فشار = نیروی وارد بر سطح منگنه

$$F = \frac{f}{a} \cdot A = f \cdot \frac{A}{a}$$

مثلاً اگر سطح پیستون تلمبه ۲ سانتیمتر مربع ($2 \times 10^{-4}\ m^2$) ونیروی‌واردبر آن ۱۰۰ نیوتن‌باشد

= فشار وارد بر سطح پیستون تلمبه

$$\frac{100}{2 \times 10^{-4}} = \frac{1}{2} \times 10^{6}\ N/m^2$$

اگرسطح پیستون منگنه ۸۰۰ سانتیمتر مربع ($8 \times 10^{-2}\ m^2$) باشد نیروی وارد بر این سطح برابرخواهدبود با:

$$F = \frac{1}{2} \times 10^{6} \times 8 \times 10^{-2} = 4 \times 10^{4} N$$

(تقریباً ۴۰۰۰ کیلوگرم نیرو)

قانون ارشمیدس

نخستین باری که پیشنهادشد بدنهٔ کشتیهارا از آهن

بسیاری از مردم به این فکر خندیدند و مسخره کردند: آهن در آب فرو می‌رود. چگونه ممکن است بدنهٔ کشتی را از آهن ساخت؟ ولی امروزه در ساختمان کشتیهای بزرگ مقدار زیادی آهن به کار می‌رود و کشتیها به زیر آب نمی‌روند.

می دانید وقتی که جسمی درمایعی قرارمی گیرد نیرویی رو به بالا بر آن وارد می‌شود که شما در بخش ۴ این کتاب به نام نیروی ئیدروستاتیك با آن آشنا شده‌اید. می توانید با یك آزمایش ساده ولی جالب این نیرورا مجسم کنید: یك قطعه نخ قرقره را به یك آجر ببندید، تلاش شما برای بلندکردن آجر به‌وسیلهٔ نخ با شکست مواجه می گردد زیرا نخ پاره می‌شود ولی اگر آجر را درآب فرو برید به‌آسانی می‌توانید آن را با همین نخ بالا بیاورید واین نشان می دهد که وزن آجر در آب سبکتر از وزن آن در هواست.

قطعه سنگی که درآب فرو می‌رود از طرف آب نیرویی رو به بالا بر آن وارد می‌شود که تقریباً برابر $\frac{۴}{۱۰}$ وزن آن است و به‌همین علت است که قطعه‌سنگهای خیلی بزرگ به وزن چندین تن به وسیلهٔ سیلاب به آسانی به حرکت در می‌آیند.

می‌دانید برای اندازه‌گیری نیروی ئیدروستاتیك که از طرف مایع بریك جسم وارد می‌شود، آزمایشهایی نخستین بار به وسیلهٔ ارشمیدس دانشمند یونانی که در سه قرن قبل از میلاد مسیح می‌زیسته است انجام گرفت. نتیجهٔ آزمایشهای او منجر به کشف بزرگی شد که «قانون ارشمیدس» نامیده شده است:

هرگاه همهٔ جسمی یا قسمتی از آن در سیالی فرو رود ازطرف سیال بر آن نیرویی وارد می‌شود که برابر وزن سیال جا به‌جا شده است. این نیرو در امتداد قائم و جهت آن از پائین به بالا است.

کلمهٔ سیال که در بیان این قانون به‌کار رفته است به مایع و گاز هردو اطلاق می‌شود.

پرسش ۸-۱۱ـ کاربردهایی از این قانون را که با آنها آشنایی دارید نام ببرید.

وقتی که جسمی بر سطح مایعی شناور باشد وزن آن برابر وزن قسمتی از مایع است که توسط جسم جابه‌جا می‌شود. تعادل کشتیها برسطح آب دریا و چگالی‌سنج برسطح مایعات برهمین اساس است.

مثال ـ یك کشتی به جرم ۱۲۰۰ تن (۱,۲۰۰,۰۰۰ کیلوگرم) بر روی آب دریا شناور است. چه‌حجمی ازآب دریابه‌وسیلهٔ این کشتی جابه‌جا شده است؟ جرم حجمی آب دریارا ۱۰۳۰ $\frac{\text{کیلوگرم}}{\text{مترمکعب}}$ فرض کنید.

چون کشتی درحال تعادل است:

وزن آب جابه‌جا شده = وزن کشتی

و چون وزن و جرم باهم متناسبند پس:

جرم آب جابه‌جا شده = جرم کشتی

از طرف دیگر

جرم حجمی آب × حجم آب جابه‌جاشده = جرم آب جابه‌جا شده

بنابراین

$$\text{حجم آب جا به‌جا شده} = \frac{\text{جرم آب جابه‌جا شده}}{\text{جرم حجمی آب}} =$$

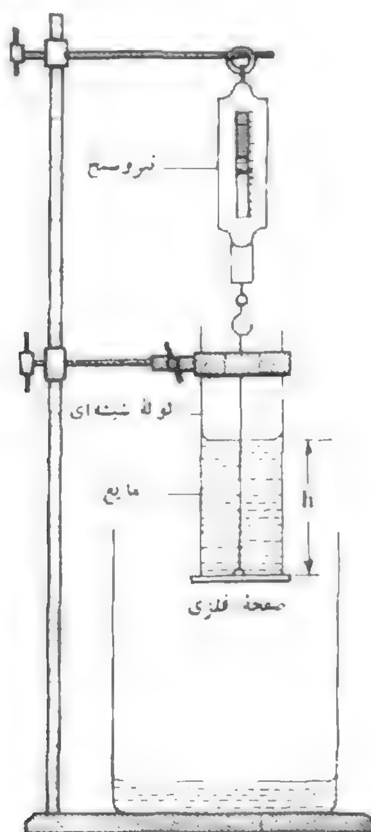
$$\frac{\text{جرم کشتی}}{\text{جرم حجمی آب}} = \frac{۱۲ \times ۱۰^{۵} kg}{۱۰۳۰ kg/m^{۳}} \simeq ۱۱۶۵ m^{۳}$$

خودتان آزمایش کنید

۱) تحقیق کنید که فشار مایع با عمق متناسب است ـ لولهٔ شیشه‌ای به قطر ۲ یا ۳ سانتیمتر را که دهانهٔ پایینی آن به‌خوبی مسطح و هموار باشد در داستای قائم با گیره به پایه‌ای ببندید و زیر آن یک ظرف بزرگ بگذارید (شکل ۸ـ۱۱). با یک صفحهٔ فلزی کاملاً هموار که آن را به وسیلهٔ ریسمان به نیروسنجی وصل می‌کنید دهانهٔ پایینی لوله را ببندید. نیروسنج را طوری به‌پایه نصب کنید که کشش مناسبی را نشان دهد. سپس در لوله به‌آرامی آب بریزید. آب هنگامی از پایین لوله به بیرون تراوش می کند که نیروی وارد از طرف آب بر صفحهٔ فلزی برابر کشش نیروسنج منهای وزن صفحه باشد (این نیرو را به F نمایش دهید)، یعنی .

$$F =$$ وزن صفحهٔ فلزی ــ درجه‌ای که نیروسنج نشان می‌دهد

در لحظه‌ای که آب به بیرون تراوش می کند عمق آب را در لوله نشان کنید (h). این آزمایش را با کششهای متفاوت نیروسنج تکرار کنید ونتایج آزمایش را درجدولی که نمونهٔ آن در زیر داده‌شده‌است یادداشت نمایید . مـی‌توانید در اینجا برای آسانی کار واحد فشار را $\frac{\text{گرم نیرو}}{\text{سانتیمتر مربع}}$ و وزن صفحهٔ فلزی را گـرم نیرو بگیرید.



شکل ۸ـ۱۱ـ آزمایش تعیین‌فشار مایع.

وزن صفحهٔ فلزی = ... gf

$\frac{F}{h}$	F(gf)	درجه‌ای که نیروسنج نشان می‌دهد (gf)	عمق آب ، h (cm)

اگر اندازهٔ سطح داخلی لوله A باشد :

$$\text{فشار مایع} = \frac{F}{A}$$

چون A مقدار ثابتی است: فشار $\propto$ F (فشار متناسب با F است)

بنابراین اگر فشار متناسب با عمق h باشد نتایج آزمایش باید نشان دهند که :

$$\frac{F}{h} = Cte \text{ (مقدار ثابت)}$$

۲) **تحقیق کنید که فشار با جرم حجمی مایع متناسب است** ـ آزمایش را با مایعهای مختلفی که جرم حجمی (ρ) آنها را می‌شناسید تکرار کنید. پیش از ریختن مایع در لوله ، نیروسنج را به بالای میلهٔ پایه ببندید تا درجهٔ بزرگی را نشان دهد . سپس هریك از مایعها را با عمق یکسان در لوله بریزید و گیرهٔ نیروسنج را به‌آرامی روی میلهٔ پایه پایین بیاورید تا مایع شروع به تراوش کند.

مانند آزمایش (۱) خواهید داشت: فشار $\propto$ F

نتایج آزمایش را در جدولی که نمونهٔ آن‌را در زیر می‌بینید یادداشت کنید:

$\frac{F}{\rho}$	F(gf)	درجه‌ای که نیروسنج نشان می‌دهد (gf)	جرم حجمی مایع $\rho(g/cm^3)$

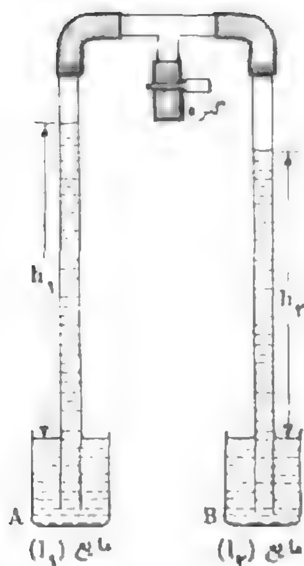
بنابراین، اگر فشار متناسب با جرم حجمی ρ باشد باید $\frac{F}{\rho} = Cte$ باشد.

نتیجه - آزمایش اول نشان می‌دهد که فشار مایع متناسب با عمق h است.

آزمایش دوم نشان می‌دهد که فشار مایع متناسب با جرم حجمی ρ است.

ترکیب این دو آزمایش نشان می‌دهد که فشار مایع متناسب با ρ h است.

۳) **بر اساس فشار مایعات جرم حجمی دو مایع را باهم مقایسه کنید** ـ دو لوله ، تا اندازه‌ای گشاد و بلند، انتخاب کنید و آنها را به‌وسیلهٔ دو قطعه لولهٔ لاستیکی به‌دوسر یك لولهٔ سه‌شاخه به‌شکل T متصل کنید و یك لولهٔ لاستیکی‌هم به‌شاخهٔ سوم وصل کنید تا بتوانید با گیره‌ای آن‌را ببندید. دولوله را مطابق شکل (۸-۱۲) در دو ظرف A و B که در آنها دو مایع مختلف به‌جرم حجمی ρ_1 و ρ_2 ریخته‌اید به‌طور قائم فروبرید و آنها را با گیره به‌پایه‌ای استوار سازید. سپس از لولهٔ لاستیکی که به‌شاخهٔ میانی لولهٔ سه‌شاخهٔ T وصل کرده‌اید مقداری هوای درون لوله‌ها را بمکید و با گیره لوله را ببندید تا هوا وارد دستگاه نشود. خواهید دید که مایعها در دو لوله



شکل ۸-۱۲- تعیین جرم حجمی نسبی دو مایع

بالا می‌روند. زیرا وقتی که هوای درون لوله‌ها مکیده شود فشار آن کم می گردد وفشار هوای خارج مایعها را بدرون آنها می‌راند ودو مایع در دولوله آن‌قدر بالا می‌روند که فشار داخل وخارج برابر شود. اگر در این حالت فشار هوای بالای مایع را در لوله‌ها به P و ارتفاع مایعها را در دو لوله به h_1 و h_2 نمایش دهید خواهید داشت :

$$P+h_1\rho_1 g=P+h_2\rho_2 g \qquad \text{(چرا ؟)}$$

بنابراین :

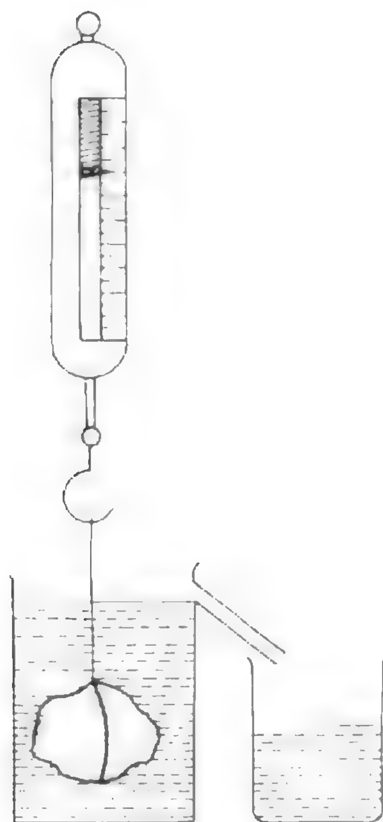
$$h_1\rho_1=h_2\rho_2$$

یا :

$$\frac{\rho_1}{\rho_2}=\frac{h_2}{h_1}$$

h_1 و h_2 را با دقت اندازه بگیرید و نسبت جرم حجمی دو مایع را تعیین کنید . یکی از دو مایع را آب بگیرید و چگالی نسبی مایع دوم را تعیین کنید .

۴) قانون ارشمیدس را با آزمایش تحقیق کنید ـ ظرف فلزی یا شیشه‌ای که در قسمت بالای آن لوله‌ای به شکل ناودان است روی سطح افقی میز قرار دهید و ظرف دیگری زیر لولهٔ آن بگذارید (شکل ۸ـ۱۳) و ظرف لوله‌دار را از آب پر کنید تا آب از لوله جاری شود . وقتی که آب از چکیدن باز ایستاد ظرف دوم را از زیر لوله بردارید و یك ظرف شیشه‌ای تمیز که از پیش کاملا آن را خشك و وزن کرده‌اید زیر لوله بگذارید . جسم جامد مناسبی مثلا یك قطعه فلز یا یك قطعه سنگ را با نخ باریکی به چنگك نیروسنجی بیاویزید و وزن آن را با نیروسنج ، در هوا معین و یادداشت کنید سپس جسم را همان طور که به نیروسنج



شکل ۸-۱۳- تحقیق قانون ارشمیدس

آویخته است به آرامی و با دقت در آب درون ظرف لوله‌دار فرو برید . وقتی‌که کاملا در آب فرو رفت آن را بی حرکت نگاه دارید و از نو وزن آن را روی نیروسنج بخوانید و یادداشت کنید . آبی‌که در اثر حجم جسم جا به جا می‌شود از لولهٔ ظرف لوله‌دار وارد ظرف دوم می‌شود . همین که ریختن آب از لوله قطع شد ظرف و آب ریخته شدهٔ درون آن را از نو وزن کنید و نتایج را به ترتیب زیر مرتب نمایید :

گرم نیرو . . . . = وزن جسم در هوا

گرم نیرو . . . . = وزن جسم درآب

گرم نیرو . . . . = وزن ظرف خالی

گرم نیرو . . . . = وزن ظرف با آب جا به جا شده

گرم نیرو . . . . = اندازهٔ سبک شدن جسم درآب (وزن جسم درآب — وزن‌جسم‌درهوا)

گرم نیرو . . . = وزن آب جابه‌جا شده به وسیلهٔ جسم (وزن آب هم حجم جسم).

نتیجه بگیرید که اندازهٔ سبک شدن جسم در آب (یعنی نیرویی که از طرف آب رو به بالا بـر جسم

وارد می‌شود) برابر وزن آب جا به جا شده است . بدین ترتیب قانون ارشمیدس در آب تحقیق می‌گردد. همین نتیجه را می‌توانید با مایعهای دیگر که در اختیار دارید به دست آورید .

توجه‌کنید : با این روش می‌توانید چگالی نسبی جسم جامد را نسبت به آب تعیین کنید زیرا با توجه به آنچه در بخش ۲ دیدید :

$$\text{چگالی یک‌جسم نسبت به آب} = \frac{\text{وزن حجم معینی از جسم}}{\text{وزن آب هم حجم جسم}}$$

به این پرسشها پاسخ دهید

۱) تعریف فشار چیست و در دستگاه واحدهای بین‌المللی با چه واحدی اندازه گرفته می‌شود ؟

۲) فرق بین نیرو وفشار چیست ؟

۳) دو آزمایش را که نشان دهند هوا فشار دارد شرح دهید .

۴) شکل اسباب ساده‌ای را که برای تعیین فشار یک مخزن گاز به کار می‌رود بکشید و توضیح دهید چگونه فشار گاز حساب می‌شود . چه واحدی را با این اسباب برای تعیین فشار گاز به کار می‌برید ؟

۵) هریک از عاملهای زیر چه اثری در فشار وارد بر ته ظرفی که درون آن مقداری مایع است‌دارد؟

الف ـ شکل ظرف و مساحت کف آن ؛

ب ـ عمق مایع در ظرف و جرم حجمی مایع ؛

ج ـ نیروهای پیوستگی بین مولکولهای مایع .

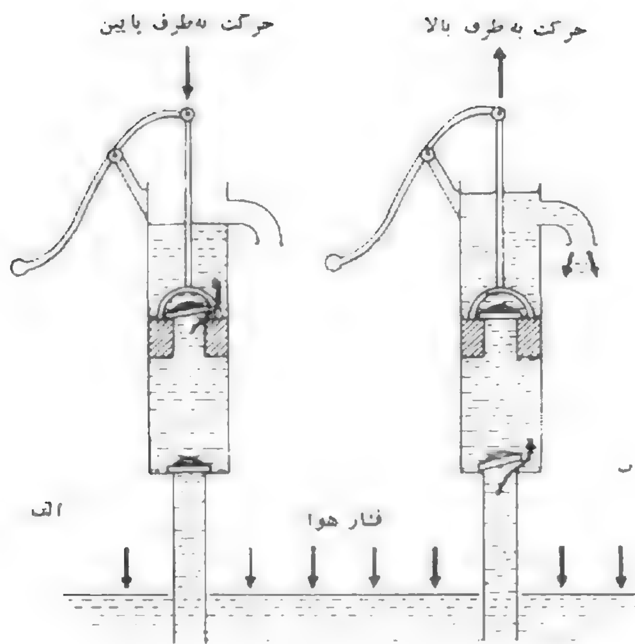
۶) توضیح دهید که چگونه نیروی وارد بریک‌سطح افقی را که در عمق h از سطح آزاد مایعی به جرم حجمی ρ واقع است حساب می‌کنید . چه واحدهایی را برای تعیین اندازهٔ این نیرو به کار می‌برید ؟ مثال بزنید .

۷) اگر در ته یک قوطی پر از مایع که در آن بسته است سوراخ کوچکی ایجاد کنید مایع بهراحتی نمی‌ریزد ولی اگر سوراخ دیگری نیز ایجاد کنید مایع به راحتی می‌ریزد . علت را توضیح دهید .

۸) توضیح دهید که چگونه می‌توانید یک هواسنج ساده درست کنید . چه نکاتی را باید رعایت کنید تا هواسنج شما دقت خوبی داشته باشد ؟ چگونه مطمئن خواهید شد که بالای جیوه در هواسنج خلأ است ؟

۹) لولهٔ شیشه‌ای یکسان و محکمی به طول یک متر که هر دو سر آن باز است در راستای قائم نگاه داشته شده است. سر پایینی لوله در ظرف بزرگ محتوی جیوه فرو برده شده و سر بالایی آن به وسیلهٔ لولهٔ لاستیکی مناسبی به‌یک تلمبهٔ تخلیهٔ هوا که هوا را خوب خالی می‌کند متصل گردیده است .

طرح ساده‌ای ازاین دستگاه را بارسم نمایش دهید. اگر تلمبه به‌کار افتد انتظار مشاهدهٔ چه پدیده‌ای



شکل ۸-۱۴- تلمبهٔ معمولی

راخواهید داشت؟درهریك از موارد زیر چه تفاوتهایی انتظار دارید مشاهده کنید ؟

الف- قطر لوله یکسان نیست ؛

ب- لوله در راستای قائم نیست ؛

ج- لوله خیلی باریك است .

۱۰) در هر یك از موارد زیر چه اثری در ارتفاع جیوه در لولهٔ هواسنج ظاهر خواهد شد ؟

الف- قطر لولهٔ هواسنج بزرگتر از معمول باشد ؛

ب- طول لولهٔ هواسنج بلندتر از معمول انتخاب شود ؛

ج- مقداری هوا در فضای بالای جیوه در لوله وارد شود .

۱۱) شکلهای (۸-۱۴ - الف) و (۸-۱۴ - ب) تلمبهٔ معمولی آب را در دو حالت نشان می‌دهند که پیستون آن به طرف پایین و بالا در حرکت است . طرز کار این تلمبه را در چند خط بنویسید . در جایی که فشار هوا ۷۶۰ میلیمتر جیوه است این تلمبه حداکثر تا چه ارتفاعی ممکن است آب را بالابیاورد؟

۱۲) از قانون انتقال فشار در مایعات چه می‌فهمید ؟ دو مثال از کاربرد این قانون را شرح دهید.

۱۳) قانون ارشمیدس را بیان کنید .

۱۴) آزمایشی را طرح ریزی کنید که به کمك آن بر اساس قانون ارشمیدس بتوان چگالی نسبی‌یك جسم جامد را تعیین کرد.

۱۵) براساس قانون ارشمیدس ، بالارفتن یك بالون پر از ئیدروژن را در هوا توضیح دهید . چرا این بالون از ارتفاع معینی بیشتر بالا نمی‌تواند برود ؟

۱۶) قانون شناور شدن یك جسم بر سطح مایع چیست ؟

این مسئله‌ها را حل کنید

شدت میدان جاذبه‌را درحل این مسئله‌ها هرجا لازم باشد برابر $g = 9/8 N/kg$ بگیرید.

۱) یك جسم جامد به شکل مکعب مستطیل که از ماده‌ای به جرم حجمی ۲/۵ $\frac{\text{گرم}}{\text{سانتیمتر مکعب}}$ ساخته شده دارای ابعاد ۲۰ × ۱۰ × ۵ سانتیمتر است . این جسم را روی یکی از وجوهش بر سطح افقی قرار می‌دهیم. بیشترین فشاری که می‌تواند براین سطح وارد سازد چه اندازه است ؟

۲) طول استخری ۳۰ متر و عرض آن ۱۰ متر و عمق آب درآن ۲ متر است . چه فشاری برحسب $\frac{\text{نیوتن}}{\text{متر مربع}}$ از طرف آب بر کف استخر وارد می‌شود ؟ چه نیرویی از طرف آب بر سطح کف استخر وارد می‌شود ؟ جرم حجمی آب ۱۰۰۰ $\frac{\text{کیلوگرم}}{\text{متر مکعب}}$ است .

۳) عمق آب در مخزنی ۱۵ متر و فشار هوا برابر ۷۶ سانتیمتر جیوه است . فشار کلی که بر کف مخزن وارد می‌شود بر حسب cmHg (سانتیمتر جیوه) چه اندازه است ؟ جرم حجمی جیوه برابر ۱۳/۶ $\frac{\text{گرم}}{\text{سانتیمترمکعب}}$ است .

۴) اگر هنگام نوشتن بایك قلم خودکار ، نیرویی معادل $\frac{1}{2}$ کیلوگرم نیرو توسط نوك قلم برصفحهٔ کاغذ وارد شود چه فشاری بر حسب $\frac{\text{نیوتن}}{\text{مترمربع}}$ برصفحهٔ کاغذ وارد می‌شود ؟ سطح نوك قلم را $\frac{1}{10}$ میلیمتر مربع بگیرید

۵) جسم جامد استوانه‌ای شکلی راکه شعاع قاعده‌اش ۰/۰۲ متر و ارتفاعش ۰/۱۰ متر است به‌طور قائم در مایعی به جرم حجمی ۱۳۰۰ $\frac{\text{کیلوگرم}}{\text{متر مکعب}}$ فرو برده‌ایم . اگر فاصلهٔ سطح بالایی استوانه از سطح آزاد مایع ۰/۱۵ متر باشد

الف ــ نیروهایی راکه ازطرف مایع بردو سطح بالایی وپایینی استوانه وارد می‌شود بر حسب نیوتن حساب کنید

ب ــ به کمك نیروهایی که حساب کرده‌اید تعیین‌کنید که وزن استوانه در مایع چه اندازه کاهش یافته است .

۶) هواسنج جیوه‌ای در یکی از روزها در مکانی فشار هوا را ۷۵۰ میلیمتر جیوه نشان می‌دهد. این فشار را بر حسب نیوتن بر متر مربع حساب کنید. جرم حجمی جیوه ۱۳۶۰۰ $\frac{\text{کیلوگرم}}{\text{مترمکعب}}$ است.

۷) وزن یک قطعه لاک در هوا ۲۷ گرم نیرو ووزن ظاهری آن در آب ۱۲ گرم نیروست.

الف_ چگالی آن نسبت به آب چه اندازه است؟

ب_ وزن ظاهری آن درمایعی به‌جرم حجمی ۰/۸ $\frac{\text{گرم}}{\text{سانتیمترمکعب}}$ چند گرم نیروست؟

۸) قطعه چوبی اگر بر سطح آب شناور شود $\frac{۲}{۳}$ حجم آن درآب فرو می‌رود و اگر بر سطح نفت شناورشود $\frac{۳}{۴}$ حجم آن در نفت فرو می‌رود. جرم حجمی چوب و نفت را حساب کنید.

۹) پل‌شناوری به‌شکل مکعب مستطیل برای انتقال اتومبیلها از یک‌طرف رودخانه به طرف دیگر به‌کار می‌رود و مساحت سطح آن ۷۲۰ متر مربع است. اگر ۶۰ اتومبیل که جرم هریک ۱۱۰۰ کیلوگرم است روی این پل قرار گیرد چه اندازه بیشتر درآب فرو می‌رود؟ جرم حجمی آب ۱۰۰۰ $\frac{\text{کیلوگرم}}{\text{مترمکعب}}$ است.

۱۰) جواب درست این تست را با علامت × مشخص کنید:

قطعه چوبی برسطح آب شناور و به حال تعادل است. وزن چوب:

۱_ با نیرویی که آب برآن وارد می‌کند برابراست.

۲_ از نیرویی که آب بر آن وارد می‌کند کمتر است.

۳_ با فشاری که آب برآن وارد می‌کند برابر است.

۴_ با وزن آب هم حجم آن برابر است.

پاسخ به پرسشهای متن

۸_۱) $P=\frac{F}{A}$ (فشار)

به‌ازای $F=۵۰۰N$ و $A=۲\times ۲۵۰cm^۲=۵۰۰cm^۲$

داریم: $P=\frac{۵۰۰N}{۲\times ۲۵۰cm^۲}=۱N/cm^۲$

درحالتی که کفش اسکی به پا دارد: $A=۲\times ۱۵۰\times ۱۰=۲\times ۱۵۰۰cm^۲$

و $P=\frac{۵۰۰N}{۲\times ۱۵۰۰\ cm^۲}=\frac{۱}{۶}\ N/cm^۲$

۸_۲) باید سطحی را که نیرو بر آن وارد می‌شود بزرگ گرفت.

۸-۳) زیرا فشار داخل قوطی کم می‌شود و قوطی نمی‌تواند فشار هوای خارج را تحمل کند و درهم فرو می‌رود.

۸-۴) بلی. مولکولهای گازها نیز مانند مولکولهای مایعات از جایی که فشار بیشتر است به سوی جایی که فشار کمتر است حرکت می‌کنند.

۸-۵) فشاری که به لاستیک نازك وارد می‌شود به مولکولهای هوای درون قیف که مجاور آن است منتقل می‌گردد. این مولکولها به نوبهٔ خود فشار را به مولکولهای دیگر هوا منتقل می‌کنند. این فشار مولکول به مولکول منتقل می‌شود تا به آب درون لولهٔ U برسد.

۸-۶) درهمهٔ نقاطی که فاصلهٔ آنها از سطح آزاد مایع به یك اندازه است. بدیهی است این نقاط‌سطحی را تشکیل می‌دهندکه موازی با سطح آزاد مایع است.

۸-۷) زیرا فاصلهٔ همهٔ نقاط این‌سطح ازسطح آزاد مایع یکی‌است. به‌عبارت دیگر دررابطهٔ $p = h\rho g$ اندازهٔ h برای تمام نقاط چنین سطحی یکی است.

۸-۸) علاوه بر روشی که در سالهای پیش آموخته‌اید می‌توان همان طور که دهانهٔ لوله پر از جیوه با انگشت محکم گرفته شده است لوله‌را چند مرتبه برگرداند تا حبابها یك‌جا جمع شده و خارج شوند.

۸-۹) چون فشار ۷۶ سانتیمتر جیوه معادل $۷۶cm \times ۱۳٫۶\,gf/cm^{۳} = ۱۰۳۳٫۶gf/cm^{۲}$ است بنابراین ارتفاع ستون آب‌که فشار آن به‌اندازهٔ فشار ستون ۷۶ سانتیمتر جیوه باشدبرابر ۱۰۳۳٫۶ سانتیمتر (تقریباً ۱۰٫۳ متر) است زیرا وزن هر سانتیمتر مکعب آب برابر ۱ gf است.

۸-۱۰)

$$۱atm = ۱۰۳۳٫۶gf/cm^{۲} = ۱٫۰۳۳۶\,kgf/cm^{۲}$$

$$= ۱٫۰۳۳۶ \times ۱۰^{۴}\,kgf/m^{۲}$$

$$= ۱٫۰۳۳۶ \times ۱۰^{۴} \times ۹٫۸N/m^{۲}$$

$$\simeq ۱٫۰۱۳ \times ۱۰^{۵}N/m^{۲}$$

۸-۱۱) کشتیها، زیردریاییها، بالونها، چگالی‌سنجها و مانند اینها.

منابعی که در تدوین کتاب به آنها مراجعه شده است

۱- ORDINARY LEVEL PHYSICS. A F ABBOTT.

۲- PHISICS. Edited by D W SCOTT, M. A.

۳- COLLEGE PHYSICS PHYSICAL SCIENCE. STUDY COMMITTEE

۴- FOUNDATION OF PHYSICS. ROBERT L. LEHRMAN CLIFFORD SWARTZ.

۵- PHYSICS. IRWIN GENZER PHILIP YOUNGNER

۶- PHYSICS. TAFFEL.

۷- The SCIENCE OF PHYSICS. ARTHUR BEISER.

۸- MODERN PHYSICS. CHARLES E. DULL. H. CLARK METCALFE. WILLIAM O. BROOKS.

۹- PHYSIQUE. J CESSAC. G TREHERNE. 2eC

۱۰- PHYSIQUE. PIERRE MACQ PIERRE STOUFFS (Classe de troisième (در کشور بلژیک)

۱۱- PHYSIQUE GENERALE. H. BRASSEUR H. SAUVERNIER.

۱۲- CHALEUR. THERMODYNAMIQUE. ETATS DE LA MATIERE. P. FLEURY et J. P MATHIEU.

۱۳- The Working World of PHYSICS. I. M. L. JENKINS.



